71. JAHRGANG. 1921. 10. BIS 12. HEFT.

Die Klosteranlagen der Karthäuser in Deutschland.

Von Architekt Otto Völckers in München.

Im Gegensatz zu den Bauten anderer Orden, besonders der Zisterzienser, haben die Anlagen der Karthäuser trotz ihrer auffallenden Besonderheiten und trotz ihres hohen kulturgeschichtlichen und Altertumswertes bisher wenig Beachtung und noch nie eine zusammenhängende Behandlung gefunden. Der Grund zu dieser Vernachlässigung liegt einmal in der von jeher geringen Anzahl von Karthausen auf deutschem Boden, sodann auch wohl in ihrer durchweg anspruchslosen äußeren Erscheinung, die bei der auf rein formale Werte eingestellten Betrachtungsweise des 19. Jahrhunderts wenig Verständnis finden konnte. Dementsprechend ist das Karthäuserschrifttum spärlich und weit verstreut, zum großen Teil ist es außerdem baugeschichtlich nicht zu verwerten, da es sich zumeist nur mit der Geschichte des Ordens oder einzelner Klöster befaßt und die Gebäude gar nicht oder doch nur flüchtig berührt. Außer den allgemeinen Handbüchern, die über den Orden überhaupt, seine Regel usw. Auskunft geben[1]), sind es im wesentlichen nur Chroniken, die hin und wieder einen Blick in die bauliche Gestaltung der behandelten Klöster gestatten.

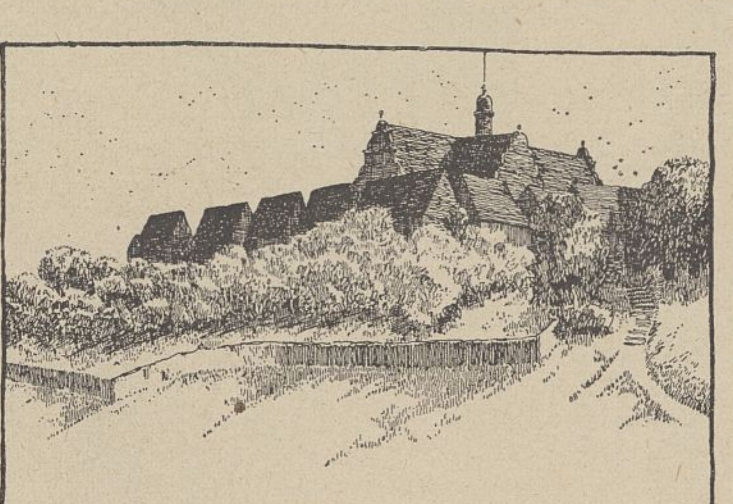


Abb. 1. Tückelhausen.

In seltener Vollkommenheit stellen die Karthausen die architektonische Verkörperung der Lebensweise ihrer Insassen dar, und wie diese letztere unzweifelhaft orientalischen Ursprungs ist[2]), so weist auch die bauliche Form auf denselben Weg. Während alle übrigen Klöster des mittelalterlichen Abendlandes die klaustrale Anlage, d. h. die geschlossene Gruppierung um einen arkadenumzogenen Hof, dessen eine Wand gewöhnlich durch die Längsseite der Kirche gebildet wird (Abb. 3), aufweisen und diese Form dann seit etwa 1600 mehr und mehr zugunsten einer mehr schloß- oder auch kasernenartigen Anlage verlassen, halten die Karthäuser mit ganz seltenen Ausnahmen (Koblenz, Freiburg, Xanten alle nachmittelalterlich) von Anfang bis zu Ende an einer für das Abendland ungewöhnlichen Form fest, die letzten Endes in der sog. Laurenanlage wurzelt. Die Lauren (Abb. 2) scheinen zuerst in Palästina entstanden zu sein, sind in entwickelteren Formen im allgemeinen nie über das Morgenland hinausgekommen und bilden dort noch heute die übliche Klosterform. Bei ihnen liegt die Kirche, das καθωλικὸν stets, oft auch daneben das gemeinschaftliche Refektorium, τράπεζα, mit angebauter Küche inmitten des von den mönchischen Einzelwohnungen umgebenen, oft sehr weiten Hofes. Obwohl dieser Anlage — die Kirche auch äußerlich als Mittelpunkt — ein baulich sehr dankbarer Gedanke zugrunde liegt, ist sie im christlichen Morgenland doch nirgends zu monumentaler Ausbildung gelangt, wie die heute noch erhaltenen älteren Klöster im Orient zeigen[3]): überall ein ziemlich regelloses Durcheinander. Den Karthäusern blieb es vorbehalten, die Form der Laura mit der dem Abendlande längst zur Norm gewordenen, übrigens selber dem Osten (Syrien) entstammten Klausurform zu einem neuen, höchst eigenartigen Typus zu verschmelzen. Die Grundform der voll ausgebildeten Karthause (Abb. 4) zeigt deutlich die einzelnen Teile, aus denen der neue Typ entstand: a) die alte Klausurform im Anschluß an die Kirche; b) die Laura mit den Einzelzellen; die Kirche ist aus der Hofmitte in die Mitte einer Hofwand gerückt; c) neben dieser einfachen Summierung von Alt und Neu, von Laura und Klausur deren Durchdringung durch die Anlage des die Einzelzellen zusammenfassenden großen Kreuzgangs.

Als der heilige Bruno aus Köln (1030 bis 1101) in der Einöde la Chartreuse nordöstlich von Grénoble für sich und seine Genossen die ersten Zellen um ein elendes hölzernes Kirchlein errichtete, tat er damit ja zunächst nichts weiter, als was schon seit Jahrhunderten in den nordeuropäischen Wildnissen die Verkünder des Christentums getan hatten. Indessen stand er unter dem Einflusse einer asketischen Bewegung, die seit dem 10. Jahrhundert von Süditalien ausging, deren erste Träger die zahlreichen von den byzantinischen Bilderstürmern und dem vorrückenden Islam nach Südeuropa

1) Heimbucher, Die Orden und Kongregationen der kath. Kirche², Paderborn 1907, Hélyot-Migne, Dictionnaire des ordres religieux III, 1862, Wetzer und Welte, Kirchenlexikon u. a.

2) Petrus Venerabilis z. B. sagt von den Karthäusern, sie lebten more antiquo Aegyptiorum monachorum (de miraculis II, cap. 28; Migne, Patr. lat. 189).

3) S. die Athosklöster bei Brockhaus, Die Kunst in den A., Leipzig 1891, und die schönen Kupferätzungen bei A. de Neyrat, L'Athos, Paris 1880, besonders Xeropotamo und H. Dionysios; ferner auch Prinz Joh. Georg zu Sachsen, Das Katharinenkloster am Sinaï, Leipzig 1912; K. Wulzinger, Drei Bektaschiklöster Phrygiens, Berlin 1913 u. a.

versprengten griechischen und anderen orientalischen Mönche waren und die bewußt an die ältesten Formen christlich-mönchischen Lebens anknüpfte. Und das gibt eben Brunos Tat und deren Folgen das andere, das morgenländische Gesicht. Die neuen Asketen Italiens ahmten ausdrücklich das Leben des heiligen Hilarion, des Gründers der ersten palästinensischen Lauren, nach[4]); die Bewegung griff bald von Süd- auf Mittel- und Oberitalien und weiter nach Südgallien über, allerwärts Asketenkongregationen und klösterlich-laurenartige Ansiedlungen hervorrufend. Nicht lange nach der Gründung bei Grénoble wurde Bruno nach Italien berufen und gründete hier in Torre bei Squillace, also mitten in dem von byzantinischen Einflüssen durchsetzten Kalabrien eine neue Karthause, von wo er aber dauernd brieflich und durch Empfang von Besuchen mit der ersten Gründung in Verbindung stand. Kann also der Einfluß der Laura auf die Karthausengestaltung keinem Zweifel unterliegen, so ist es ebensowenig zu verkennen, daß auch die bis dahin im Abendlande übliche und zunächst vom Benediktinerorden unzertrennliche Klausuranlage an der Neubildung mitwirkte, um so weniger, als ja gerade Bruno sich und seinen Genossen die genaueste Befolgung der Benediktinerregel zur Richtschnur gemacht hatte. Dieses Mit- und Nebeneinander geht schon aus den frühesten Berichten über Aussehen und Einrichtungen der Karthausen hervor. Es sind das neben den spärlichen Äußerungen des Petrus Venerabilis besonders die Schilderungen des Abts Guibert von Nogent[5]) und die Consuetudines Carthusienses Guigos I., des fünften Priors der Großen Karthause. Guibert besuchte die „Carthusia" um 1104 und schreibt lib. I cap. 11: „Claustrum quidem satis idoneum pro coenobiali consuetudine habentes, sed non claustraliter ut caeteri cohabitantes. Habent quippe singuli cellas per gyrum claustri proprias, in quibus operantur, dormiunt ac vescuntur . . . panem scilicet ac legumen accipiunt, quod unicum pulmenti (Zukost, dann Nahrung überhaupt) genus a quoque eorum apud se coquitur." Wir sehen also, daß etwas dem sonst üblichen Klosterbau ähnliches, eine Klausur, vorhanden war — satis idoneum pro coenobiali consuetudine —, daß aber die einzelnen Zellen der Brüder, deren jeder seinen eigenen Haushalt führte, per gyrum claustri lagen. Es bleibt zweifelhaft, ob dies heißen soll, daß damals schon die einzelnen Zellen ringsum an einem Kreuzgang lagen, oder ob die Zellen rings um das Klaustrum lagen, also um den als für ein gemeinsames Leben geeigneten Teil, den Guibert zuerst erwähnt. Im letzteren Falle hätten wir noch eine richtige Laura vor uns.[6]) Guibert erzählt weiterhin von einer Wasserleitung, die rings um den ganzen Zellenkomplex führte und von der aus jedes Häuschen durch Öffnungen mit Wasser versorgt wurde. Auch spricht er noch von einer ditissima bibliotheca, die die Brüder zusammenbrächten; für diese muß also auch schon Platz gewesen sein. Endlich erwähnt er auch die Laienbrüder und warum man solche hielt.[7]) Die wichtigsten Glieder der Karthause sehen wir also schon in der frühesten Zeit wirksam. Eine willkommene Ergänzung zu Guiberts Schilderung bieten dann die etwa 30 Jahre später von Guigo I. erstmals niedergeschriebenen Consuetudines Carthusienses.[8]) Hier finden wir neben beachtlichen Angaben über die Einrichtung der einzelnen Zellen — Bettzeug, Kleider, Koch- und Schreibgeräte und Handwerkszeug — einiges über die dem gemeinschaftlichen Gebrauche dienenden Räume und Gebäude. Es ist mehrmals die Rede vom refectorium (cap. IV, 4 und 23), vom capitulum, wo z. B. die Fußwaschung stattfindet (cap. IV, 22). Diese Räume lagen wohl schon damals in der besonderen klaustralen Baugruppe, cap. IX, 3 heißt es: . . . in claustrum convenimus. Eine Andeutung endlich über die Lage dieses Klaustrums zum Ganzen gibt uns cap. XXX, 2: Der frater coquinarius versieht zugleich Pförtnerdienste und bewacht (cap. XLVI) auch die Kirche. So lagen also Klosterpforte, Kirchenpforte, Küche mit Refektorium und

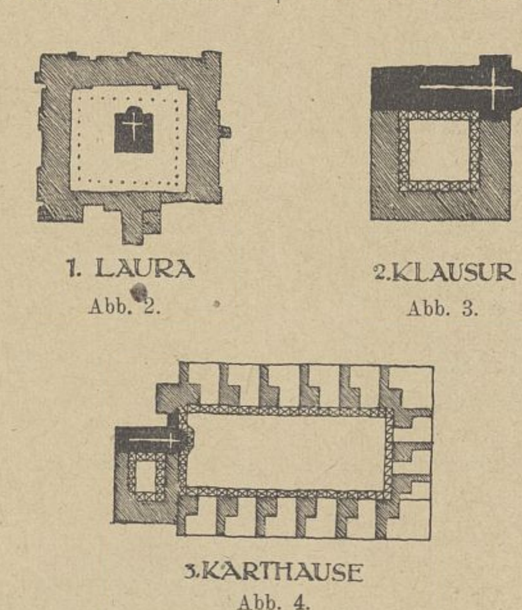


Abb. 2. Abb. 3. Abb. 4.



Abb. 5.

4) E. Sackur, Die Kluniazenser usw., Halle 1892, I, S. 323 ff., wo auch weitere Angaben über östliche Einflüsse auf das abendländische Klosterleben.

5) 1053 bis 1124; seit 1104 Abt; die Schrift de vita sua libri III, die auch sonst höchst anschauliche Schilderungen aus der Zeit um 1100 gibt, abgedruckt bei Migne, Patr. lat. 156.

6) Der Begriff von claustrum schwankt. C. heißt besonders später, aber auch schon auf dem berühmten St. Gallener Plan, soviel wie Kreuzgang; andrerseits kann claustrum, wie unser heutiges „Kloster", das davon herzuleiten ist, nach du Cange, Glossaire, sein = monasterium ipsum.

7) Die Einrichtung der Laienbrüder übernahm Bruno von den auch in anderer Beziehung ähnlichen Vallombrosanern (gegr. um 1038); von ihm kam sie über die Kluniazenser zu den Zisterziensern, die sie mitsamt der nötigen baulichen Veranstaltung zur Vollkommenheit durchbildeten; s. a. Kirchengesch. Studien V, 1, 1899.

8) Abgedr. bei Migne, Patr. lat. 153.

dann wohl auch Kapitel und Bibliothek unmittelbar zusammen; die Zellen lagen andererseits für sich, und so ist es im wesentlichen durch die Jahrhunderte geblieben. Es erübrigt noch die Frage, wann die Zellenhäuschen durch den großen Umgang zusammengeschlossen wurden, wann also die bedeutsame Tat geschah, das Ungeordnete der zerstreuten Laurenform zu dem großartigen und eindrucksvollen architektonischen Gebilde des „großen Kreuzgangs" — des Chiostro grande der herrlichen italienischen Karthausen — zu erheben. Guibert von Nogent läßt uns im Zweifel, auch Guigo liefert uns keine Anhaltspunkte. Es scheint nun, als ob Anthelmus, der siebente Prior der großen Karthause, der von 1139 bis 1153 die Leitung innehatte, und der auch sonst sehr baulustig gewesen zu sein scheint, der gesuchte Mann ist. Wenigstens berichtet Molin von ihm folgendes: Novo etiam invento (antiquo licet in Aegypto[9]) S. Anthelmus Prior claustrum eremitis suis extruit abiunctim coniunctis et coniunctim separatis. Mir scheint, als ob man das nicht anders als in dem von uns gedachten Sinne verstehen kann. Damit aber war im wesentlichen die Bildung der „Karthause" abgeschlossen. Beispiellos ist nun die Umwandelbarkeit dieses Schemas, das ebensowenig wie der Karthäuserorden selbst jemals eine Reform erlebt hat. Als fertige Form ist es im Anfang des 14. Jahrhunderts nach Deutschland übertragen worden.

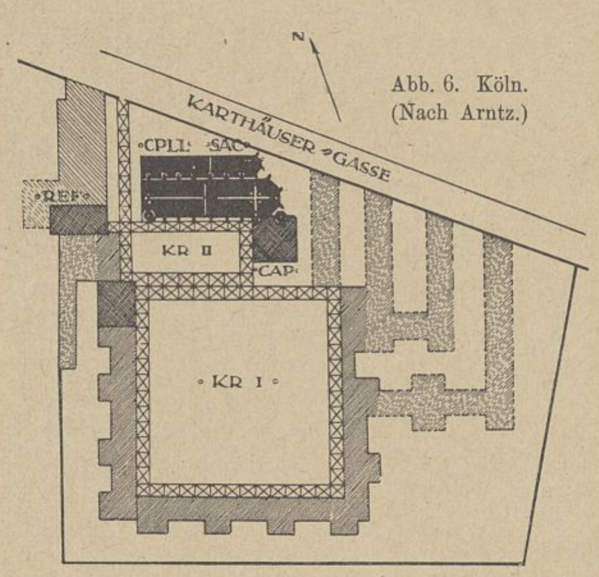


Abb. 6. Köln. (Nach Arntz.)

Von den im ganzen etwa 32 bis 35 Karthausen, die überhaupt nur auf deutschem Boden gegründet worden sind — eine im Vergleich mit andern Orden sehr geringe Zahl —, sind uns heute in einigermaßen vollständigem Zustande nur zwei erhalten: Buxheim bei Memmingen und Tückelhausen bei Ochsenfurt am Main. Wichtigere Teile blieben uns von den Karthausen Prüel bei Regensburg, Erfurt, Karthaus bei Danzig, Hildesheim, Astheim und Jülich. Eine

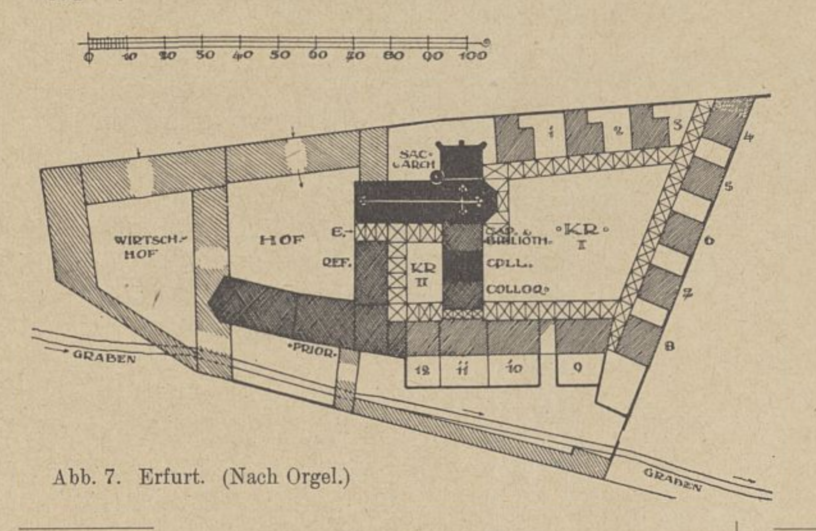


Abb. 7. Erfurt. (Nach Orgel.)

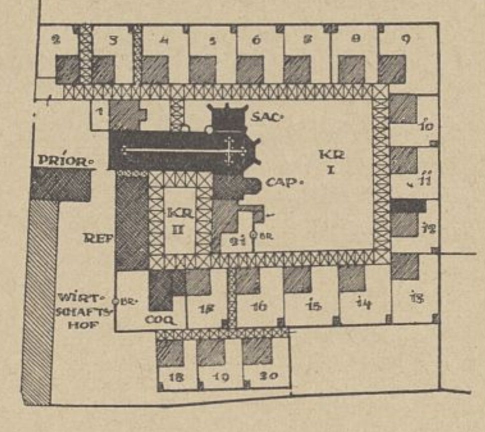


Abb. 8. Nürnberg. (Nach Essenwein.)

9) Der Augenschein der vorhandenen Karthausen und der afrikanischen (mit ihnen der islamitischen) Klöster lehrt, daß Molin von den letzteren wohl nichts kannte als Berichte, wie z. B. den des Hieronymus im 22. Brief an Eustochius: „Manent separati sed iunctis cellulis". Eine kunstgeschichtliche Verwandtschaft zwischen Karthausen und ägyptischen Klöstern besteht jedenfalls nicht S. Lenoir, Arch. monastique, Paris 1852, Bd. I, Fig. 24, A. Ballu, Le monastère de Tébessa, Paris 1897, W. de Bock, Matériaux pour servir à l'arch. de l'Egypte chrét., Petersburg 1901, Fig. 72, sowie auch Diez, Die Kunst der islamischen Völker, Berlin 1916.

(Grande Chartreuse)
bei Grénoble

(Seitz [Germ. superior]) — Würzburg 1348 — (Niederlande)

(Prag) — Mainz? 1322 — Tückelhausen 1352 — Astheim 1408 — Ilmbach 1454 — (Arnheim) — (Roermond)

Stettin 1360 — Frankfurt a. O. um 1396 — Karthaus 1382 — Grünau 1333 — Trier 1330 — Wesel 1417 — Jülich 1478

Konradsburg? 1488 — Erfurt 1373 — Christgarten 1401 — Koblenz 1331 — Köln 1334 — Sierck 1415 — Merzlich 1680 — Xanten 1622 — Dülmen 1477

Nürnberg 1380 — Hildesheim 1384 — Liegnitz 1416 — Eisenach 1440 — Eppenberg 1442 — Crimmitschau 1477 — Buxheim 1406 — Rettel 1435

Prüel 1484 — Rostock 1396 — Ahrensböck? 1402

Sonderstellung nimmt die in Nürnberg ein, deren Gebäude bekanntlich den Grundstock des Germanischen Museums bilden; das Gepräge der alten Anlage ist aber leider im wesentlichen durch Um- und Zubauten völlig verwischt. Hier wie in manchen andern Fällen können uns aber vor der Zerstörung oder Umänderung aufgenommene Grundrisse eine Vorstellung von dem ehemaligen Zustande geben. Von einer ganzen Anzahl namentlich der im nordöstlichen Teile Deutschlands gegründeten Klöster ist aber überhaupt nicht viel mehr als Name, Ort und die gröbsten Umrisse der äußeren Geschichte überliefert. Aus verschiedenen Zeiten besitzen wir katalogartige Zusammenstellungen über den Klosterbestand des Ordens. Die bemerkenswerteste von ihnen ist die auf einem seltsamen Gemälde im Germanischen Museum, die in den drei deutschen Provinzen Alemanniae inferioris, Reni und Saxoniae insgesamt 38 Niederlassungen kennt.[10]) Über die örtliche Verbreitung des Ordens in Deutschland unterrichtet das beifolgende Kärtchen (Abb. 5), während der Stammbaum, den ich S. 315 gebe, nur ein erster sehr unvollständiger Versuch sein kann.[11])

Stellt man die Gründungsjahre der deutschen Karthausen zusammen, so zeigt sich ein besonderer Gründungseifer um die Zeit von etwa 1370 bis 1420, in der allein 15 neue Niederlassungen entstanden, was vielleicht, wie Kremer vermutet hat[12]), mit dem erschreckenden Auftreten des Schwarzen Todes zusammenhängt, der seit 1348 in immer neuen Stößen Deutschland durchzog, der z. B. 1350 in Friesland nachgewiesenermaßen Veranlassung zum Neubau des Predigerklosters in Norden gab und auch sonst die Gebefreudigkeit der Kirche gegenüber vielfach erhöhte[13]). Jedenfalls ist die Begünstigung eines so

Abb. 9. Karthaus in Westpreußen. (Lageplan.)

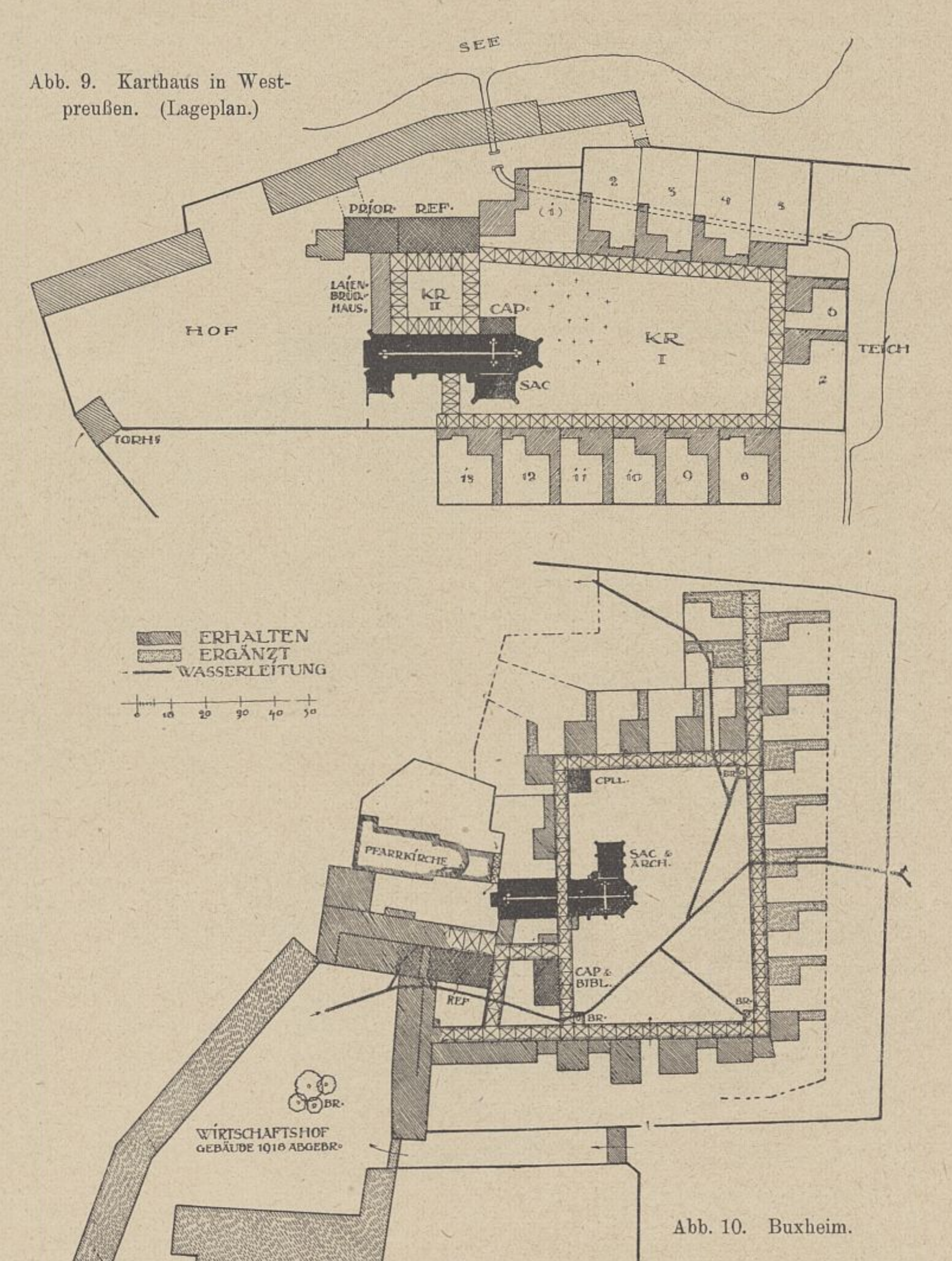


Abb. 10. Buxheim.

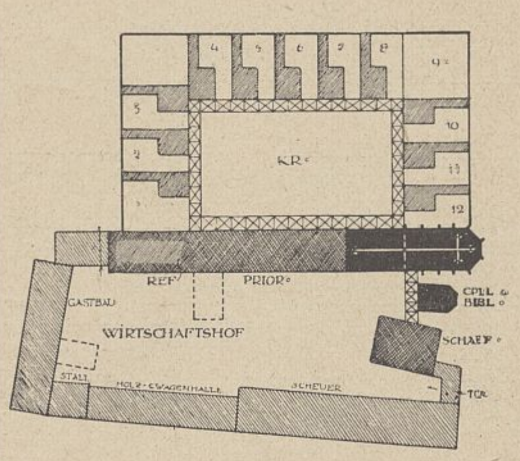


Abb. 11. Astheim (Rekonstruktion).

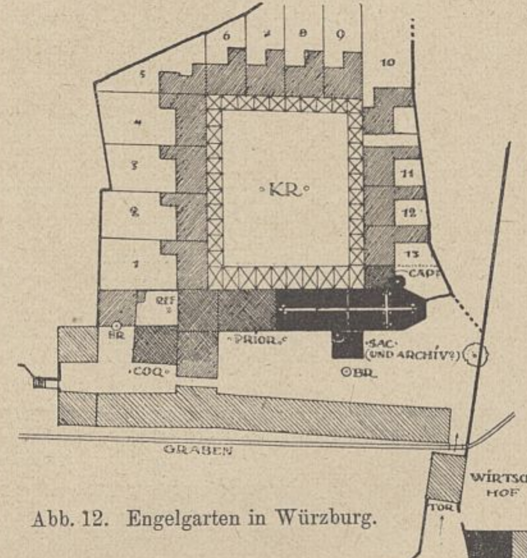


Abb. 12. Engelgarten in Würzburg.

10) Von zuverlässiger Darstellung der einzelnen Häuser ist nicht die Rede. Die Bezeichnung im Gemäldekatalog des Museums „in Form eines Stammbaums" ist ganz unzutreffend.

11) Als Töchter habe ich die Klöster gerechnet, deren Insassen sämtlich einer älteren Karthause entnommen wurden; wo die Mönche für eine Neubesetzung aus mehreren älteren zusammengestellt wurden, gilt die Karthause als Mutter, aus der der erste Prior gestellt wurde. Die außerdeutschen Klöster sind eingeklammert.

12) Beiträge z. Gesch. d. klösterl. Niederlassungen in Eisenach (Quellen u. Abhandl. z. Gesch. der Diözese Fulda II), Fulda 1905.

13) Siehe C. Lechner, Das große Sterben in Deutschland, Innsbruck 1884.

strengen Ordens in der zweiten Hälfte des 14. Jahrhunderts bezeichnend. Die Gründer unserer Klöster sind neben geistlichen und weltlichen Würdenträgern gerade auch Bürger (Würzburg, Köln, Straßburg) und die Stiftung der Freiburger Karthause, die in die erste Pestzeit fällt, wird von der Bürgerschaft durch kostenlose Überlassung von Grund und Boden gefördert[14]). Mit der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts werden die Gründungen spärlich, im 16. Jahrhundert bringt besonders der Bauernkrieg eine Bestandsminderung; ein gutes Drittel aller Karthausen aber hielt sich bis zur großen Säkularisation 1803 bis 1805, die dann restlos mit ihnen aufräumte. Die einzige heute bestehende deutsche Karthause in Hain bei Düsseldorf wurde 1869 neu gegründet.

Zu beachten ist die Reihenfolge der Bauten, die man bei Neugründungen befolgte. Zuerst scheint man stets mit der Klostermauer begonnen zu haben (Trier, Nürnberg), dann kamen die ersten Zellen, zunächst wohl oft in Fachwerk (Erfurt); weiter folgten in Trier die Wirtschaftsgebäude, während die Kirche, die bei den Karthäusern dem Volk gänzlich verschlossen blieb und ausschließlich dem eigenen Gebrauch diente, oft erst nach langen Jahren vollendet wurde (Trier, Nürnberg, Jülich, Dülmen). Die Zahl der Zellen wuchs erst nach und nach an, je nach dem Bedürfnis und je nach der Freigebigkeit der Stifter; es war nämlich sehr beliebt, eine oder auch wohl mehrere Zellen einzeln zu stiften und mit Geld, Kirchengerät wie Meßkelch usw. auszustatten. Beispiele bieten Buxheim, dessen Zellen von anfangs (1402) sechs nach und nach auf dreiundzwanzig (1512) kamen und Astheim, das im Laufe der Zeit seine anfänglich sechs Zellen auf die doppelte Zahl brachte. Mit diesem allmählichen Anwachsen des Zellenbestandes steht auch die mehrfach überlieferte allmähliche Entstehung des großen Kreuzgangs in natürlichem Zusammenhang: in Astheim kam er in Stein erst etwa 70 Jahre nach der Gründung zur Ausführung, in Köln wurde er erst 1492 zu wölben begonnen und nur noch zum Teil vollendet, in Dülmen wurde er erst 1612 bis 1619 fertig. Wie bei den Zellen wurden auch bei den Kreuzgängen oft die einzelnen Gewölbefelder von einzelnen Wohltätern gestiftet, deren Wappen dann sinngemäß die Schlußsteine zierten. — Das bekannte Sprüchlein: Bernardus valles, Benedictus montes amabat, Oppida Franciscus, magnas Ignatius urbes könnte man bei oberflächlichem Hinsehen für die Karthäuser dahin erweitern, daß ihnen jede dieser Lagen recht gewesen wäre. Denn neben richtigen Bergklöstern (Koblenz, Mainz?, Buxheim am steilen Illerufer), deren schönstes Beispiel Tückelhausen ist, wie ein kleines Dorf die Spitze des Berges krönend, Abb. 1, 13 bis 15, finden wir ausgesprochene Tallagen (Christgarten, Grünau), neben Karthausen in tiefster Einsamkeit (Christgarten, Grünau) solche in oder dicht bei belebten Städten (Trier, Köln, Würzburg, Freiburg, Straßburg, Erfurt, Nürnberg); selbst Inselklöster fehlen nicht (Wesel und die ehemalige Wasserburg Dülmen). Bei näherer Betrachtung finden wir aber, daß der Orden bei eigentlichen Neugründungen die Städte bevorzugte, wenn er nicht, was eben sehr häufig war, berufen wurde, verfallene oder ein-

Abb. 13. Tückelhausen, äußerer Hof, Marienbrunnen.

14) Nic. Molin, Historia Cartusiana II, 103. Neudruck Tournay 1903.

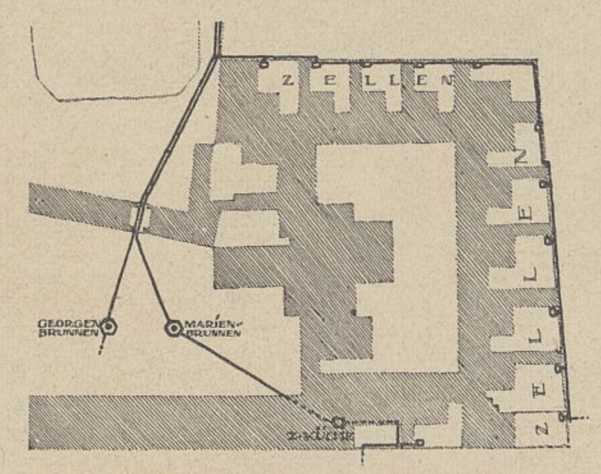


Abb. 14. Tückelhausen, Schema der Wasserleitungsanlage. (Nach Plan und Beschreibung von 1805.)

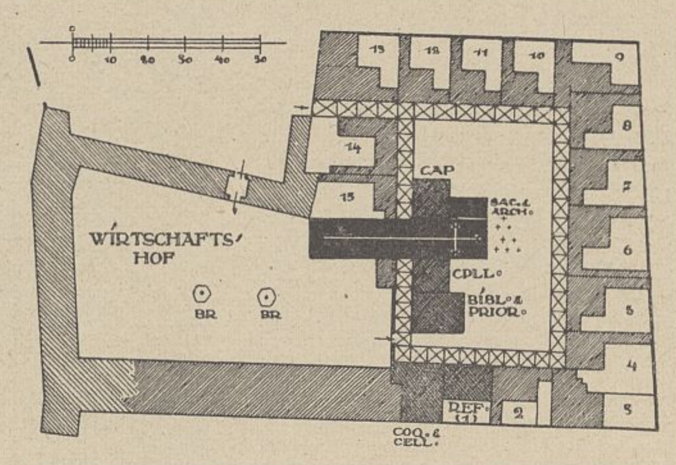


Abb. 15. Tückelhausen bei Ochsenfurt.

gegangene Klöster anderer Orden neu zu besetzen. Die Vorgänger waren zumeist Chorherren (Koblenz, Buxheim, Krimmitschau) und Benediktiner (Prüel, Konradsburg, Gutenstein), einmal auch Prämonstratenser (Tückelhausen). In diesen Fällen und auch da, wo etwa der Stifter einen bestimmten Platz, eine Burg oder einen Hof zur Verfügung stellte (Astheim, Ilmbach, Dülmen), nahm man, was geboten wurde. Sonst aber suchte man möglichst ebene Plätze, und zwar unmittelbar vor oder in Städten zu erlangen, was nicht immer leicht gewesen sein mag[15]). Denn schon die ganze Art der Anlage beanspruchte an sich ein großes Gelände, wozu noch die Forderung des sog. Spatiamentums trat, die darin bestand, daß jede Karthause mit einem für den allwöchentlich stattfindenden gemeinsamen Spaziergang ausreichenden Gelände innerhalb der Klostermauer ausgestattet sein mußte, von dessen Vorhandensein die Aufnahme der Neugründung in den Orden abhängig gemacht wurde. So hatte die Kölner Karthause schon 1354 innerhalb der Stadt ein $9^1/_2$ Morgen großes Gebiet mit Äckern, Obst- und Weingärten inne, auch Engelgarten in Würzburg und die Erfurter Karthause lagen inmitten großer Gartengelände, die der letzteren freilich bei Erweiterung der Stadtbefestigung und ihrer Einbeziehung in diese empfindlich beschnitten wurden. Große Aufmerksamkeit wandte man, wie schon die älteren Orden es taten, auf Anlage oder auch Erwerb von Fischteichen und -gewässern, so hatte Grünau treffliche Forellenteiche und in Schivelbein in Pommern zeugen noch jetzt sorgfältig mit Lehmschlag und Pflasterung ausgekleidete Teiche von der Tätigkeit der Brüder[16]).

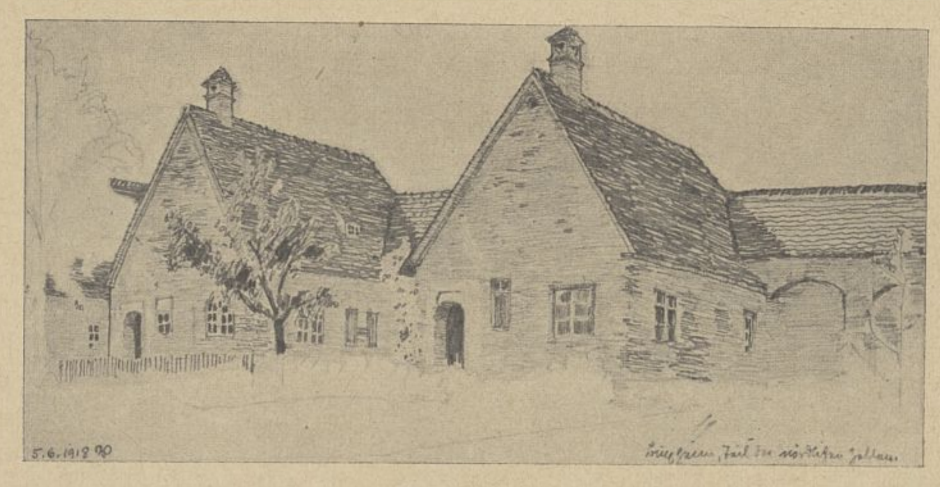


Abb. 16. Buxheim, Teil der nördlichen Zellen (rechts Zelle 4).

Wie bei den Benediktiner- und Zisterzienserklöstern besteht die Gesamtanlage der Karthausen aus zwei streng getrennten Teilen: der Klausur, also dem Kloster im engeren Sinn, und dem für die verschiedensten Geschäfte notwendigen Wirtschaftshof, Abb. 6 bis 11, 12 u. 15. Diese Wirtschaftshöfe mit ihren Gebäuden dürften sich bei unsern Klöstern nicht wesentlich von denen anderer unterschieden haben. Von mittelalterlichen Anlagen dieser Art ist nichts erhalten, dafür aber die sehr stattliche barocke in Tückelhausen, Abb. 13, deren Gebäude einen viereckigen Hof umziehen und zum Teil mit Laubengang versehen sind. Hier waren neben den verschiedensten Stallungen und Werkstätten die Zellen der Laienbrüder, die Gasträume, auch eine „Ausspeyserey“[17]), d. h. wohl eine Speiseanstalt für Arme und Pilger, und die Schaffnerei untergebracht. Stets vom äußeren Hof zugänglich ist auch das Priorat, das anderseits aber auch bereits in enger Verbindung mit den Räumen der Klausur steht, die sich um einen, öfter aber um zwei oder gar mehr Kreuzgänge gruppieren. Die Verdoppelung des Kreuzgangs bildet eins der wesentlichsten Merkmale der Karthausen; sie ist außerhalb unseres Ordens bei Benediktineren und Zisterziensern nirgends, ganz ausnahmsweise einmal an einer Stiftskirche (St. Patrokli in Soest) und sonst nur noch hier und da bei den Bettelorden anzutreffen. Die Bettelordensbauten haben überhaupt manche Verwandtschaft mit den Karthausen. Bei diesen wurden, wie auch bei den Dominikanern, die Kreuzgänge Galiläa genannt (Galilaea maior et minor). Diese merkwürdige Bezeichnung, schon bei den Kluniazensern für das später so genannte „Paradies“ gebräuchlich, hängt nach Meßmer[18]) vielleicht mit Matth. 26, V. 32 und 28, V. 16 zusammen, vielleicht aber auch mit der für die Prozessionen üblichen letzten Station des Leidensweges Christi, dem Berg Galiläa, zusammen. Beide Galiläen dürften im allgemeinen gewölbt gewesen sein; erhalten sind gotische Rippengewölbe in Tückelhausen, Erfurt, Prüel, Köln und Nürnberg, während in Buxheim, wo der große Kreuzgang mit flachen, durch Gurtbogen getrennten Spiegelgewölben überdeckt ist, in Farben und Stuck der ganze Zauber barocker Dekorationskunst waltet.

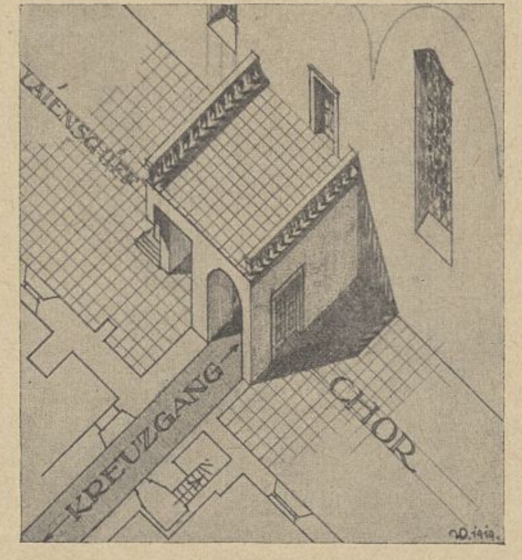


Abb. 17. Buxheim.

15) In Erfurt hatte man den vor der Mauer liegenden Schindanger als Bauplatz ausersehen. Der Anrüchigkeit des Ortes wegen erfand man eine hübsche Legende: Zu dem auf Bauplatzsuche ausgesandten Baumeister trat ein licht gekleideter Jüngling, der den bewußten Platz ausnehmend lobte und für das neue Gotteshaus als bestgeeignet empfahl, worauf er verschwand (Serarius V, Miraeus u. a.). Ebenso hübsch ist es, daß man in Würzburg den von den Gebrüdern Teufel als Bauplatz gestifteten „Teufelsgarten“ in „Engelgarten“ umtaufte.

16) Die Jülicher Karthause trieb Fischzucht und sogar Fischhandel im großen, was sich im übrigen mit der Ordensregel ebensowenig vereinigen läßt, wie die Wein- und Geldgeschäfte des gleichen Klosters.

17) Kreisarchiv Würzburg, Saec. XLI, Nr. 1668 a u. b, ganz ähnlich lautend mit dem „Grund- und Lagerbuch“ der Karthause T. auf dem Rentamt in Ochsenfurt a. M. (1805).

18) Mitt. K. K. Centralkomm. VI, 1861, S. 104/5. Vgl. auch J. Evelt, Woher hat das vormalige Dominikanerkloster Galilaea seinen Namen? in Zeitschr. d. Ver. f Gesch. u. Altertumskunde Westfalens, 1878, und du Cange, Glossaire, s. v. Galilaea. Das Zisterzienserkloster bei Monnikendam in Holland hieß ebenfalls Galilaea.

Um den oder die kleineren Kreuzgänge (Galilaea minor) gruppieren sich die dem gemeinschaftlichen Gebrauche dienenden Räume, Kirche, Kapitalsaal, Refektorium und dergl. Wir könnten erwarten, hier die Aufteilung, wie sie sich sonst bei den älteren Orden herausgebildet hatte, zu finden, aber davon ist keine Rede, im Gegenteil stört uns öfters, z. B. in Köln und Karthaus, eine gewisse Leere; es ist, als ob man mit dem einmal übernommenen Grundsatze des Arkadenhofes sich genug getan hätte. So kommt es, daß man eine bestimmte Regel in der Lage der einzelnen notwendigen Räume fast gar nicht feststellen kann. Nur die Sakristei scheint einen bestimmten Platz zu haben, auch bei den Karthausen mit nur einem Kreuzgang. Sie liegt fast stets an der der kleinen Klausur abgewandten Seite am Chorhaupt der Kirche. Der Grund mag größere Feuersicherheit gewesen sein, denn im Obergeschoß der Sakristei pflegte das Archiv seinen Platz zu haben. In Buxheim ist das Archiv mit einer bemerkenswerten kleinen Geheimkammer versehen, die hinter der als Schrank ausgebildeten blinden Nordwand des Raumes liegt und nur durch den Schrank zu betreten ist. Die Kirchen der Karthäuser sind von größter Einfachheit und stets einschiffig und ohne Querhaus; ihre dadurch bedingte hochschulterige äußere Erscheinung ist für die Karthausen ebenso maßgeblich wie für die Bettelordensklöster und wie die turmlosen Anlagen mit Querhaus und Dachreiter für die der Zisterzienser. Bezeichend ist die Umänderung der von den Karthäusern übernommenen Prämonstratenserkirche in Tückelhausen. Sie nahmen der bestehenden Kirche die Seitenschiffe und vermutlich auch das Querhaus sowie die halbrunde Chorapsis, die sie durch einen platten Chorschluß ersetzten. Die grundsätzliche Einschiffigkeit, der auch die Bettelorden zum mindesten in ihren Chören huldigten, war gegenüber den Kirchenanlagen der älteren Orden ein entschiedener Fortschritt hinsichtlich der Zweckmäßigkeit des Gebäudes. Denn in den Zisterzienserkirchen z. B., bei denen das Gestühl der Mönche oft noch weit in das Langhaus hineinreicht, waren die östlichen Teile der Seitenschiffe und die Flügel des Querhauses verlorener Raum, der niemandem zugute kam. Buxheim bewahrt eine seltsame Einrichtung, die wir ähnlich auch wieder nur bei Bettelordenskirchen[19]) finden: quer durch den Kirchenkörper führt der große Kreuzgang, aufs schärfste den Chor der Professen von dem Raume der Laienbrüder sondernd, Abb. 17. Im Kirchenraume wirkt das nun keineswegs befremdlich, man glaubt eben einen gewöhnlichen Lettner vor sich zu haben. Eine kleine Loge mit Kniebank findet sich ebenfalls in Buxheim, in halber Höhe des an der Südwand des Chors emporführenden Treppchens. Endlich bietet uns Buxheim noch einige wenige Reste des barocken Chorgestühls in allerschönster schwerer und reicher Eichenholzschnitzerei, der Überlieferung nach ein Zeugnis der einst im Kloster geübten Kunstfertigkeit. Der Sakristei auf der einen entspricht öfters der Kapitalsaal auf der andern Seite des Chorhauptes (Köln, Erfurt, Nürnberg), auch er zweigeschossig, mit der Bibliothek im Obergeschoß. Bei der verhältnismäßig geringen Brüderzahl ist er stets nur von geringer Ausdehnung. Ebensowenig wie er bietet das Refektorium Besonderheiten; wo es erhalten ist (Nürnberg, Karthaus, Erfurt), ist es ein schlichter rechteckiger Raum, gewölbt oder meistens mit flacher Decke; in Buxheim ist er ganz schlicht mit etwas Stuckarbeit geziert und sonst nur durch seine behaglichen Abmessungen anziehend. In Tückelhausen, wo die kleine Klausur fehlt, liegt das Refektorium geradezu „irgendwo" (s. Abb. 15). Der 1805 aufgenommene Plan zeigt noch die Estrade, auf der der Wand entlang die Tische standen, die von der freien Mitte aus bedient wurden, eine schöne, schon im Mittelalter gebräuchliche Anordnung, die noch heute in Klöstern üblich ist. Zu diesen Räumen kommen noch hin und wieder andere, ein „Kolloquium", also eine Art Sprechsaal (Erfurt), eine Kapelle (Astheim, Erfurt). In Buxheim ist die Kapelle in die Nordwestecke des großen Kreuzgangs verlegt, in Köln sind die Zwischenräume zwischen den Strebepfeilern der

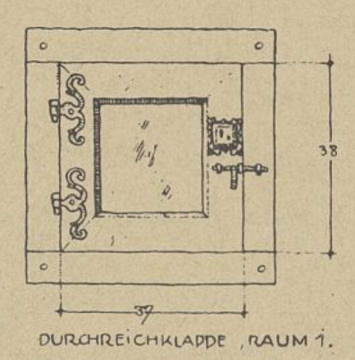


Abb. 18. Buxheim, Zelle Nr. 4.

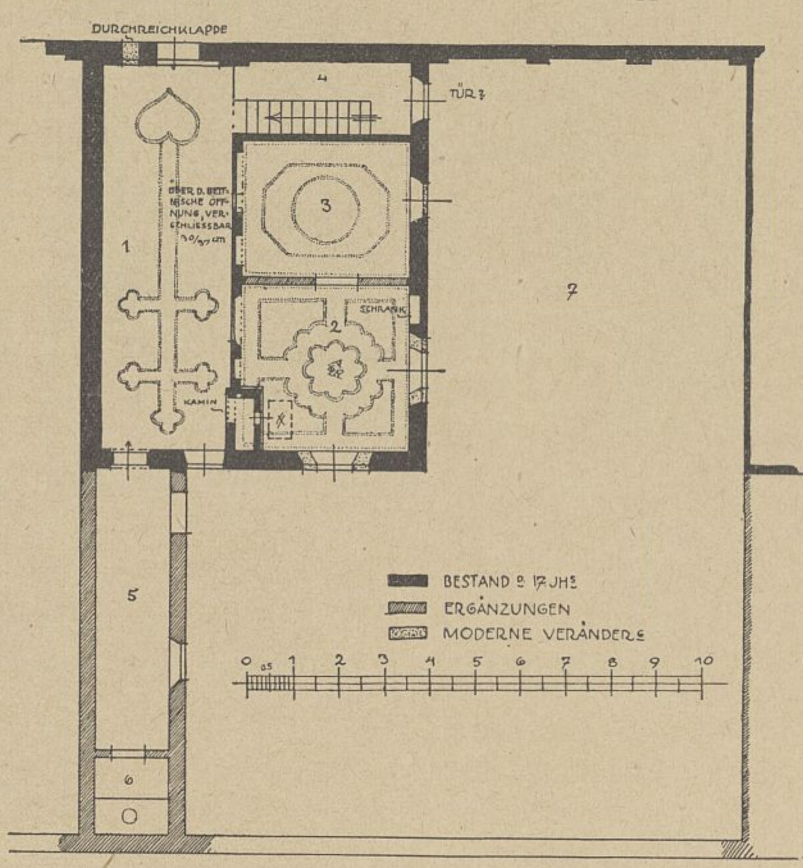


Abb. 19. Buxheim, Zelle Nr. 4. Grundriß.

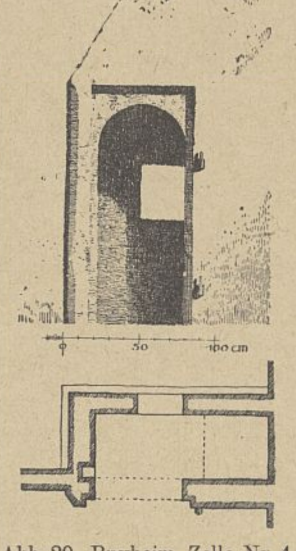


Abb. 20. Buxheim, Zelle Nr. 4. Kamin im Raum 1.

19) Z. B. Stiehl, Wohnbau des Mittelalters, S. 37, Grundriß des Franziskanerklosters in Danzig, zwei Baseler Klöster in Mitt. Ges. für vaterländ. Altert. in Basel III, 1845 und VI, 1855, und verschiedene andere.

Kirche auf der Seite des kleinen Kreuzgangs zu Kapellen ausgebaut.

Während wir den kleinen Kreuzgang und seine Gebäude im wesentlichen nur als eine mehr oder weniger zurückgebildete Form des bei den älteren Orden zu großer Vollkommenheit entwickelten Klausurschemas ansehen können, betreten wir mit dem großen, Galilaea maior, das eigentümlichste, eine gewisse Größe architektonischen Empfindens atmende Gebiet der Karthause. Der „große" Kreuzgang trägt seinen Namen immer zu Recht, denn auch bei den kleineren Klöstern hat er immer noch stattliche Abmessungen. Kleiner als alle ist infolge der besonderen Anordnung der Zellen der Nürnberger mit einer freien Hoffläche von 20 × 15 m, auf die etwa 11 Zellen entfallen; größer ist schon der in Tückelhausen mit 36 × 62 m bei 14 Zellen, der in Karthaus mit 40 × 83 m und 13 Zellen. Der Buxheimer mit 32 × 70 m und 16 Zellen gehört neben dem in Jülich zu den größten in Deutschland[20]). Vergleicht man diese Abmessungen mit den größten Abmessungen benediktinischer und zisterziensischer Kreuzgänge (Hildesheim, Domklausur 24 × 44 m, St. Peter in Hirsau 35 × 41 m, Eberbach 32 × 36, Haina 30 × 38), so versteht man den großen Raumbedarf an ebener Fläche, um so mehr, als diese großen Höfe doch erst ein Teil des Ganzen waren. In Eisenach war man genötigt, zur Erlangung der nötigen Fläche umfangreiche Erdarbeiten vorzunehmen, die aber erfreulicherweise gleichzeitig zur Erschließung zweier Quellen für die Wasserleitung führten[21]). Schwierig war es, eine einmal ringum besetzte Karthause zu erweitern. Zwar hatte schon Guigo I. die Höchstzahl der Brüder einer Karthause auf 14, die der Laienbrüder auf 16 festgesetzt, und darauf sind offensichtlich auch die meisten großen Kreuzgänge zugeschnitten, aber oft genug mußte das Generalkapitel seine Genehmigung zur Überschreitung dieser Höchstzahlen geben. Molin stellt um 1630 die Zahl der Brüder in den damaligen Karthausen fest: die meisten hatte Köln (23), Jülich nur 3 Getreue[22]). Die Normalzahl war damals etwa 15. Um für soviel Zellen Platz zu schaffen, half man sich auf zweierlei Weise: entweder man verlängerte einen Kreuzgangflügel, wie es noch heute Buxheim zeigt, oder man legte eine der alten parallele Reihe neuer Zellen an (Nürnberg). In Erfurt tat man sogar beides; die Neuanlagen verschwanden aber bald wieder. Ganz wunderlich muten die Erweiterungen der Kölner Galilaea maior an, bei denen Licht und Luft für die Zellen jedenfalls zu kurz kamen. Da war es schon besser, wenn man, wie es später gerade auch in Köln doch geschah, auf die alten Zellen ein zweites Stockwerk mit einer neuen Wohnung aufsetzte (Buxheim, am Südflügel). Immer aber störten diese Erweiterungen die Einheitlichkeit und Übersichtlichkeit der unberührten Anlage.[23])



Abb. 21. Tückelhausen. Gärtchen aus Zelle Nr. 6.

Verschieden ist die Stellung der Zellenhausfirste zum Kreuzgang. Der Zufall hat es gefügt, daß von beiden Möglichkeiten je ein unberührtes Beispiel erhalten blieb: in Tückelhausen stehen die Firste parallel, Abb. 21, in Buxheim quer zum Kreuzgang, Abb. 16. Der ersten Art folgen sonst noch Karthaus und Dülmen, der zweiten Nürnberg, Astheim, Rettel, Frankfurt a. O. und andere. Wir treten aus dem großen Kreuzgang in die Zellen, eine Bezeichnung, die eigentlich geringschätzig klingt gegenüber diesen behäbigen kleinen Wohnungen mit Gärtchen, die den Karthäuser für seine lebenslängliche Einsamkeit ein wenig entschädigten. Von mittelalterlichen Zellen ist uns nur eine in Karthaus erhalten, aber

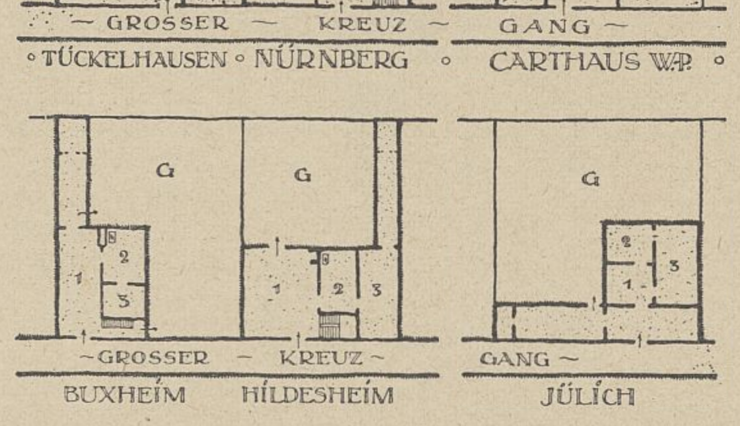


Abb. 22. Schema der Zellen.

20) Übertroffen werden diese Maße noch von den großen französischen und italienischen Klöstern: Chartreuse de Clermont mit 84 × 56 m und 16 Zellen, Certosa di Pavia mit 112 × 93 m und 24 Zellen.

21) Joh. Rothe, Düringische Chronik, herausgeg. von R. v. Liliencron, Jena 1859.

22) Gleichzeitig zählte die Große Karthause 41, die in Pavia 36 Brüder.

23) Als man 1381 in Erfurt vor der Wahl stand, entweder die alte Karthause abermals zu erweitern oder eine neue zu gründen, entschied man sich für das letztere und sandte sechs Brüder, mit einem Viertel der gesamten Klosterhabe ausgestattet, nach Eisenach, wo dann ein neues Haus entstand.

da der Raumbedarf der Häuschen mitsamt der ganzen Karthäuseranlage sich im ganzen wohl immer gleich geblieben ist, können wir die in allen Hauptstücken vortrefflich erhaltene Zelle Nr. 4 in Buxheim, übrigens vielleicht die einzige ganz erhaltene in Deutschland, als Typus näher beschreiben (Abb. 19). Über der Tür vom Kreuzgang steht Jahreszahl der Stiftung und der Name des Stifters aufgemalt, neben ihr ist die zum Durchreichen des Mundvorrats bestimmte Öffnung noch zu erkennen, und auch die hölzerne von innen verschließbare Klappe ist noch mitsamt ihrem Rahmen erhalten (Abb. 18). Wir treten zunächst in einen größeren mit Ziegelplatten gepflasterten Raum; links führt eine Treppe zum Dachboden, neben der Fensterwand liegt ein kleiner offener Kamin (Abb. 20), die Kochstelle, und zum Garten und Abort führt eine Tür hinaus. Die Decke ist hier und in den anderen Räumen mit ganz einfacher Stuckarbeit verziert. Neben dem Kamin führt eine Tür in den Raum 2, das Wohn- und Arbeitsgelaß. Es hat Dielenfußboden und war durch einen Ofen aus schwarzglasierten Kacheln heizbar. Außer zwei Fenstern weist die eine Wand eine Nische mit Spuren eines Schrankeinbaues auf. Das Mittelstück der Decke bildet eine eigenartige Zusammenstellung aus den Buchstaben M·A·R·I·A. Raum 3 endlich, nur von 2 aus zu erreichen, war der Schlafraum; er hat Dielenfußboden, eine Bett- und eine Schranknische. Über dem Bett befindet sich in ziemlicher Höhe über dem Fußboden eine ehemals verschließbare Öffnung von 30 × 37 cm lichter Weite, die auch in anderen Zellen in Buxheim vorkommt, deren Zweck mir aber unerfindlich ist. Der Dachboden zeigt einen kräftigen liegenden Dachstuhl aus Eichenholz, der den ganzen Dachraum als Lagerplatz für Geräte usw. frei läßt. Das Dach ist mit Ziegeln gedeckt, auch die Kehlen im Anschluß an das Dach des Kreuzganges sind mit besonderen Kehlziegeln von beträchtlicher Größe durchgedeckt.[24]) Die Umrahmung der Gartentür zeigt außen (Abb. 16) deutlich, daß hier einst der auch sonst überall anschließende Gang mit dem Abort am äußeren Ende vorhanden war, der zugleich die Grenze gegen den Garten des Nachbars bildete. Die Abortanlage war natürlich von Wichtigkeit, und wie überall im Mittelalter sehen wir auch hier die Sorgfalt angewendet, die Anlage möglichst vom eigentlichen Hause abzurücken; schon der St. Gallener Plan zeigt dies Bestreben, das seine stattlichste Ausgestaltung in den Danzkertürmen der Deutschordensburgen fand. Von gleicher Wichtigkeit wie die geschickte Anordnung der Aborte war ferner die bei der Ausdehnung der Karthausen und dem in lauter Einzelhaushalte aufgelösten Betriebe oft recht schwierige Wasserversorgung, auf die man denn auch schon zu den Zeiten Guiberts von Nogent sein besonderes Augenmerk richtete. Zunächst suchte man womöglich natürliche Wasserläufe um die Zellengruppe herumzuführen (Jülich, Karthaus, Ilmbach, Dülmen Frankfurt a. O.); in Erfurt führte man zu solchem Zweck einen Wasserlauf mittels hölzerner Rinnen über den Stadtgraben hinweg. In ebenem Gelände war das noch verhältnismäßig leicht, bei Berglage aber zwang die Notwendigkeit zu größerer Anstrengung. Zu den bemerkenswertesten Anlagen solcher Art überhaupt gehört die in großen Teilen noch wohlerhaltene Wasserleitung in Tückelhausen (Abb. 14). Man führte hier das Wasser zweier entfernt liegender Quellen in Blei- und Eisenröhren bis an die Nordwestecke des Klosters. Hier teilt sich die Leitung. Ein Teil des Wassers speist die zwei Brunnen im Wirtschaftshof, weiterhin einen Trog in der Küche, tritt unter dem Refektorium wieder zutage, füllt noch den Trog im Garten der Nachbarzelle und fließt dann zu Tal. Der andere Teil der Leitung aber geht von der Nordwestecke um den Zellenkomplex herum, teils innerhalb teils außerhalb der Mauer, und zwar in einer offenen von Kragsteinen und gemauerten Bogen getragenen Steinrinne. In jedem Gärtchen steht hart an der Mauer ein steinerner Trog, in den durch zwei Öffnungen in der Mauer das Wasser einströmt. Die ganze Anlage ist 1640, wenn nicht neu angelegt, so doch erneuert, aber viel anders kann die schon von Guibert beschriebene Leitung bei der Großen Karthause auch nicht ausgesehen haben (s. S. 314). In Buxheim war fließendes Wasser auf der Höhe des Klosters überhaupt nicht zu erlangen, man war genötigt, es mit Hilfe eines von Wasserkraft getriebenen Pumpwerkes von der beträchtlich tiefer liegenden Buxach heraufzuschaffen. Das Pumpwerk ist von Holz und noch heute im Betrieb. Oben tritt das Wasser an drei Ecken des großen Kreuzganges in drei noch plätschernden Röhrenbrunnen zutage. Die Einzelversorgung der Zellen scheint sich hier nicht haben durchführen lassen. Die in Buxheim heute fehlenden Ganganbauten sind — äußerlich wenigstens — in Tückelhausen erhalten, wo infolgedessen auch die anheimelnde Abgeschlossenheit des Gärtchens unverändert zum Ausdruck kommt (Abb. 21). Denkt man sich diese kleinen Gärten nun noch im Blumenschmuck und hier und da mit Zwergbäumchen besetzt, wie sie die Bestandsaufnahme in Tückelhausen 1805 noch vorfand, so haben wir im ganzen einen recht liebenswürdigen Aufenthalts- und Arbeitsort. In dieser Stille betete und arbeitete der Karthäuser je nach Neigung und Veranlagung; Bücherlesen, Bücherschreiben und -einbinden, Tischler- und Schnitzarbeiten, Kunstglaserei und anderes Kunsthandwerk waren die Hauptbeschäftigungen[25]); in Dülmen schuf Judocus Vredis als Mönch und als Prior seine reizvollen Tonreliefs, die dann wohl in der Klosterziegelei mitgebrannt wurden. Auch die Verpflegung dürfte nach und nach bei aller strengen Ordensdiät nicht immer ganz übel gewesen sein, bezog doch z. B. die Jülicher Karthause im Vogelsang am Ende des 15. Jh. allein 35000 Eier jährlich bei einer Besetzung mit 9 Mönchen und 25 anderen Personen (1493).

Ein Vergleich der Zellenhäuschen der einzelnen Karthausen (Abb. 21) zeigt, daß auch hierin der Orden eine zähe Beharrung und Gleichförmigkeit an den Tag legte. Überall finden wir die drei Haupträume wieder, nur selten durch einen besonderen Vorflur (Jülich) oder einen zweiten Gang am Garten (Karthaus, Tückelhausen) bereichert. Der Abortgang aber dürfte nie gefehlt haben[26]).

Zum Schluß berühren wir noch die bisher nur bei den Kirchen der Zisterzienser angeschnittene Frage nach dem

24) Buxheim zeigt überhaupt reichliche Verwendung von Tonware. So besteht die Wendeltreppe zum Archiv aus großen Formstücken mit angeformter Spindel.

25) Vgl. J. J. Merlo, Kunst und Kunsthandwerk im Karthäuserkloster in Köln i. Ann. hist. Ver. f. Niederrhein 45, 1886.

26) Auch, trotz Essenweins Plan, in Nürnberg nicht, s. Barbeck, Kulturgesch. Bilder aus Alt-Nürnberg, X, Bl. 14, 2.

Einflusse der Filiation auf die Gestaltung unserer Klöster. Hat die Anlage eines Mutterklosters auf die der von ihm ausgegangenen Tochterklöster einen entscheidenden Einfluß gehabt? Ich glaube, diese Frage bei den Karthausen bejahen zu können. So zeigen die fränkischen Karthausen Würzburg, Tückelhausen, Astheim und Ilmbach, von denen die letzten drei mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit von der ersten aus gegründet sind, unverkennbare Ähnlichkeiten. Sie sind unter den uns näher bekannten Karthausen die einzigen, denen der kleine Kreuzgang fehlt. Die Stellung der Kirche haben je zwei und zwei von ihnen gemein. Auch die im Filiationsverhältnis zueinander stehenden Karthausen Erfurt und Nürnberg sind einander außerordentlich ähnlich, und wenn die Nürnberger Klosterchronik und nach ihr andere behaupten, die Nürnberger Karthause sei nach dem Muster der Würzburger angelegt worden, so lehrt doch der Augenschein, daß sich das vielleicht auf die Verwaltung und andere innere Angelegenheiten, nicht aber auf die äußere Anlage bezogen haben kann.

Der großherzige Stifter der Nürnberger Karthause Marquard Mendel stellte kurz vor seinem Tode (1385) zusammen mit dem Schaffner Ulrich Ammon zu Nutz und Frommen zukünftiger Zellenstifter fest, daß der Bau und Einrichtung einer Zelle etwa 200 Gulden ausmache, eine für damalige Zeit immerhin hohe Summe. Als aber im Gefolge der Säkularisation die Karthausen an den Meistbietenden versteigert wurden, da brachte die ganze Karthause Astheim mit allen Gebäuden (mit Ausnahme der Kirche), Priorat, Gastbau, Wirtschaftsgebäuden und 12 Zellen, sowie mit 287 Morgen Acker und 36 Morgen Wiesen ganze 25000 fl.[27]). Die Folge war hier wie fast überall, daß der Materialwert der Bauten, namentlich die eichenen Dachstühle zum Abbruch verlockten, der denn auch fast allen deutschen Karthausen den völligen Untergang bereitet hat.

27) Würzb. Kreisarchiv, Saec. fasc. 3, Nr. 82. Die einzelnen Zellen waren auf je 40 fl. taxiert.

Wichtigere Einzelschriften.

(Die Denkmälerverzeichnisse der einzelnen Länder als „Inv." abgekürzt.)

Astheim: Inv. Bayern III, 8, S. 21 ff. — Archiv d. hist. Ver. von Unterfranken usw. 38, 1896, S. 1 ff.
Ahrensböck: J. v. Schröder, Topographie der Herzogt. Holstein usw. Oldenburg i. H. 1855, I, S. 155.
Buxheim: Allgäuer Geschichtsfreund 9, 1896, S. 90 ff. u. 113 ff.
Danzig: Ztschr. Westpreuß. Gesch.-Ver. Heft 6, S. 87 ff. — Inv. Westpreußen I, 1884/87, 1, S. 10 ff.
Dülmen: Inv. Westfalen, Kreis Koesfeld, 1913. — Alb. Wormstall, Judocus Vredis, Münster 1896.
Erfurt: Mitt. Ver. f. Gesch. u. Alttkde. v. Erfurt, 27, 1906, S. 1—49.
Eisenach: Quellen u. Abh. z. Gesch. d. Abtei u. Diözese Fulda II, Fulda 1805. — Beiträge z. Gesch. Eisenachs IV, 1896.
Eppenberg: Wilh. Dilich, Hessische Chronika, 1617, S. 135 u. 242. W. Dersch, Hess. Klosterbuch, Marburg 1915, S. 22.
Frankfurt a. O.: Inv. Prov. Brandenburg VI, 2, 1912.
Grünau: Link, Klosterbuch d. Diöz. Würzburg, 1876, II, S. 288 ff.
Gutenstein: Keppler, Württembergs Kunstaltertümer, Rottenburg 1888, S. 368.
Hildesheim: Inv. Prov. Hannover, Stadt H. kirchl. Bauten (II, 4, 1911) S. 280 ff.
Ilmbach: Arch. hist. Ver. Unterfranken usw. 6, 1840/41, Heft 3.
Jülich: Inv. Rheinprovinz VIII, 1. — Ann. hist. Ver. f. d. Niederrhein 61, 1895, S. 79 ff. — C. Schorn, Eiflia sacra, Bonn 1888, II, S. 685 ff.
Koblenz: J. Marx, Gesch. d. Erzstifts Trier, 1858—64, II, 2, S. 338/9.
Köln: Ztschr. f. christl. Kunst, 7, 1894, Sp. 9 ff.
Krimmitschau: Chr. Fr. Kästner, Chronik der Stadt K., 1853, S. 165/6.
Mainz: Nic. Serarius, Rer. Mogunt. libr. I und V.
Merzlich s. Trier.
Nürnberg: Essenwein-Stiehl, Wohnbau d. Mittelalters (Handb. d. Arch. II, 4b), Leipzig 1908, S. 39. — Mitt. Ver. f. Gesch. d. Stadt N., 15, 1902, S. 88 ff.
Rettel und Sierck: J. Marx, Gesch. d. Erzstifts Trier, II, 2, S. 339/41. — Inv. Elsaß-Lothr. III, 1889, S. 864 ff.
Rügenwalde, Inv. Prov. Pommern III, 1, Heft 3, 1892, S. 84.
Straßburg: Chron. d. deutschen Städte 9, 1; zu 1340.
Schivelbein: Baltische Studien IX, Heft 2, 1842.
Tückelhausen: Inv. Bayern III, 1, 1911, S. 254 ff.
Trier: J. Marx, Gesch. d. Erzstifts Trier II, 2, S. 326 ff. — Ders., Die Ringmauern und Tore der Stadt Trier, 1876, S. 44 f. u. 105 f. — Mod. Leydecker, Historia . . . Cartusiae St. Albani, 1765, MS. der Stadtbibl. Trier. — F. T. Müller, Schicksale der Trierer Gotteshäuser, Anf. 19. Jahrh., MS. ebendort.
Würzburg: Inv. Bayern, Stadt W. — Arch. hist. Ver. Unterfranken, 40, 1908, u. f.
Wesel, Ann. hist. Ver. f. d. Niederrhein 52, 1891, S. 61 ff.
Xanten, Inv. Rheinprovinz I, 3.

Der romanische Backsteinbau.

Vom Regierungs- und Baurat a. D. Hasak in Berlin-Grunewald.

Zur Zeit der Römer sehen wir den Ziegel mit deren Kohorten in die unterjochten und besiedelten Länder vordringen. Ein zweites Mal begegnen wir diesem Einzug des Backsteines unter dem Schutze des Schwertes in bis dahin unkultivierte Gegenden, als die Deutschen Neudeutschland östlich der Elbe schufen und den Slawen einen Teil jener unermeßlichen Landstrecken wieder abnahmen, die seit Urzeiten zwischen Ostsee und Schwarzem Meer der Sitz deutscher Stämme, der Skythen, Geten, Goten und Wandalen gewesen, aber seit der Völkerwanderung diesen verloren gegangen waren. Da in den angrenzenden deutschen Landen eine Backsteinbaukunst damals nicht gepflegt wurde, so drängt sich die Frage von selbst auf, woher stammt diese in jenen Ländern bis dahin unbekannte Kunst? Stammt sie gar von den Slawen? Wenn nicht die Kulturlosigkeit der slawischen Völkerschaften dem entgegen stände, so wäre diese Erklärung zuerst die nächstliegende und natürlichste. Denn überall da, wo sich diese ehemals slawischen Lande durch die deutsche Besiedlung aus dem Dunkel ihrer Geschichtslosigkeit herausheben, von der Elbe bis hinauf zu dem bottnischen Meerbusen und im Süden bis zum Fuße der Karpathen, entstehen Kirchen und Dome in der dem benachbarten Deutschland fremden Backsteinkunst. Ja, diese stolzen Backsteinbauten werden geradezu zum Wahrzeichen des neuen Deutschlands ostwärts der Elbe. Überall recken sich ihre wie reichste Spitzengewebe durchbrochenen Giebel siegessicher gen Himmel. Nur schade, daß das völkische Empfinden den neuzeitlichen deutschen Baukünstlern durch das ständige Nachstammeln englischer und anderer fremder Vorbilder derart verloren gegangen ist, daß man sich entrüstet wehrte bei dem Wieder-

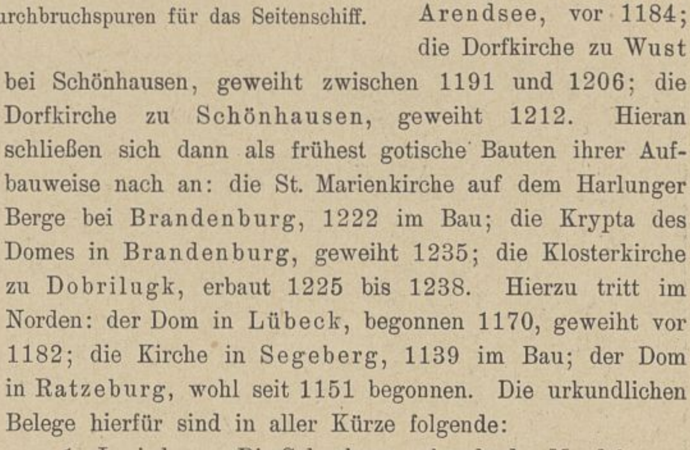
aufbau Ostpreußens dieser in Wahrheit deutschen eingeborenen Kunst auch nur den Zutritt, geschweige denn den Vortritt zu gewähren.

Es ist nun in den letzten Jahrzehnten heftig darüber gestritten worden, ob diese Ziegelbaukunst aus den Niederlanden mit den einwandernden Holländern und Flamen in die Mark gelangt sei, oder ob Italien oder gar Dänemark das Ursprungsland wäre. Adler hatte in seinem berühmten Werke[1]) den Backsteinbau aus Holland stammend angenommen und blieb bis zu seinem Tode trotz heftiger Angriffe bei dieser Ansicht. Die Hannoveraner und später Schäfer wiesen dagegen auf die gleichartigen Einzelformen der märkischen und italienischen Backsteinbauten hin und suchten daher in Italien den Ursprung der märkischen Ziegelbaukunst. Inzwischen bestritt Rudolph[2]), daß zu jener frühen Zeit im 12. Jahrhundert überhaupt schon beträchtliche Holländeransiedlungen östlich der Elbe stattgefunden hätten. Sie könnten schon aus diesem Grunde nicht die Urheber der märkischen Ziegelbauten sein. Dehio[3]) hatte dieses ebenfalls abgelehnt mit dem Hinweis, daß sich im Bremer Lande viel früher Holländer angesiedelt hätten, ohne den Ziegelbau dorthin zu übertragen, trotzdem sie auch dort natürliche Steine nicht vorgefunden hatten. Schließlich hat Stiehl[4]), gestützt auf diese Vorgänger, überdies den Nachweis versucht, daß die italienischen romanischen Bauten früher als die ostelbischen seien und die Backsteinbaukunst der Mark daher sicher aus Italien stamme. Doch versucht er diesen Erweis fast ausschließlich dadurch zu erbringen, daß er jedesmal auf das entschiedenste behauptet, die jetzt vorhandenen romanischen Backsteinbauten der Mark seien nicht mehr die ursprünglichen, von denen die Urkunden reden, sondern 50 Jahre später entstanden. Bei diesen Behauptungen beläßt er es. Einen Beweis versucht er nicht. Keine einzige, 50 Jahre spätere Urkunde kann er beibringen.



Abb. 1. Jerichow, Stadtkirche mit den Durchbruchspuren für das Seitenschiff.

Daß Stiehl die märkischen Bauten der Zeit nach nicht richtig einschätzt, erweisen die Urkunden und die Nachbarbauten. Die Zusammenstellung der märkischen romanischen Bauten erbringt den Beweis, daß die romanischen Ziegelbauten der Mark im 12. und nicht im 13. Jahrhundert entstanden sind, geradeso wie alle anderen romanischen Bauten im übrigen Deutschland. Und zwar sind den urkundlichen Belegen nach entstanden: die Stadtkirche in Jerichow, zwischen 1128 und 1144; die Klosterkirche bei Jerichow, zwischen 1144 und 1148; die Klosterkirche zu Diesdorf, geweiht 1161; der Dom zu Brandenburg, zwischen 1161 und 1171, die Unterteile des Ostbaues stammen ersichtlich sogar noch aus der Zeit Ottos des Großen, der 948 das Bistum gegründet hat; die Dorfkirche zu Wulkow, zwischen 1159 und 1172; St. Nikolaus zu Brandenburg, zwischen 1166 und 1173; die Marienkirche zu Jüterbog, geweiht 1174; die Klosterkirche zu Lehnin, in ihren Ostteilen und Seitenschiffen nach 1180; die Klosterkirche zu Arendsee, vor 1184; die Dorfkirche zu Wust bei Schönhausen, geweiht zwischen 1191 und 1206; die Dorfkirche zu Schönhausen, geweiht 1212. Hieran schließen sich dann als frühest gotische Bauten ihrer Aufbauweise nach an: die St. Marienkirche auf dem Harlunger Berge bei Brandenburg, 1222 im Bau; die Krypta des Domes in Brandenburg, geweiht 1235; die Klosterkirche zu Dobrilugk, erbaut 1225 bis 1238. Hierzu tritt im Norden: der Dom in Lübeck, begonnen 1170, geweiht vor 1182; die Kirche in Segeberg, 1139 im Bau; der Dom in Ratzeburg, wohl seit 1151 begonnen. Die urkundlichen Belege hierfür sind in aller Kürze folgende:



1. Jerichow. Die Schenkungsurkunde des Magdeburger Domherrn Hartwig von Stade, des späteren Erzbischofs von Bremen, vom Jahre 1144 an die Prämonstratenser in Jeri-

1) Adler, Mittelalterliche Backsteinbauwerke des Preußischen Staates. Berlin, seit 1859.

2) Rudolph, Niederländische Kolonien der Altmark. Brandenburg 1889.

3) Dehio, Hartwig von Stade, Erzbischof von Hamburg-Bremen. Göttingen 1872.

4) Stiehl, Der Backsteinbau romanischer Zeit. Leipzig 1898.

chow, in der auch die bisherige Güterausstattung der Dorfkirche auf die der Prämonstratenser übertragen wird, schließt mit der Zeitbestimmung:[5] „Anno ordinacionis domini et venerabilis Anselmi Havelbergensis Episcopi et ejusdem Jerichontine Ecclesie XVI.“ [Im 16. Jahr der Weihe des Herrn und verehrungswürdigen Havelberger Bischofs Anselm und dieser Jerichower Kirche.] Die Kirche war also 1144 16 Jahr alt (Abb. 1). Auch in einer Urkunde vom J. 1145 spricht Bischof Anselm von dem „fundum quendam Jericho cum ecclesia et suis usibus“. [Ein gewisses Gut Jerichow mit der Kirche und seinen Nutzungen.]

In dieser Dorfkirche hatten die Prämonstratenser zuerst ihren Gottesdienst abgehalten. 1148 bekundet Erzbischof Friedrich von Magdeburg:[6]

„Et quum fratres, qui in predicta ecclesia habitare ceperant, propter tumultum forensis populi propositum sue Religionis ibidem minime conseruare poterant, rogatu jam memorati hauelbergensis Episcopi anselmi et Tiderici, propositi, assensimus cum eis concambium facere dantes in Episcopatum hauelbergensem ex septentrionali parte ville Jericho totum, quod duabus aquis iuxta fluentibus et hinc inde tumulis aliquibus effosse terre includitur, quatenus predicti Canonici ibidem edificarent et deo quiecius servirent.“

[Und da die Brüder, welche in vorbesagter Kirche zu hausen angefangen hatten, wegen des Lärmes des Marktvolkes den Zweck ihrer Vereinigung gar nicht aufrecht erhalten konnten, so stimmten wir auf Bitten des schon erwähnten Havelberger Bischofs Anselm und des Propstes Tiderich zu, mit ihnen einen Tausch zu machen, indem wir an den Havelberger Bischofssitz aus dem nördlichen Teile des Ortes Jerichow alles gaben, was durch zwei daneben fließende Wässer und von da ab durch einige Hügel ausgegrabener Erde eingeschlossen wird, da ja die vorbesagten Stiftsherrn dort bauten und Gott ruhiger dienten.] Die Prämonstratenser hielten also in der neuen Kirche schon 1148 ihren Gottesdienst ab (Abb. 2 bis 4).

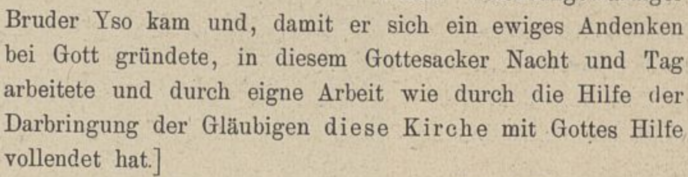


Abb. 2. Jerichow, Klosterkirche. [Nach: Meßbild.

2. Diesdorf. Die Kirche war schon 1161 vollendet, denn der Verdener Bischof Hermann bekundet in diesem Jahr bezüglich der Gründung Diesdorfs:

„... Quo quidam venerabilis frater Yso adveniens, ut aeternam sui nominis memoriam apud deum conderet, in eodem dei agro nocte et die laboravit et proprio labore fideliumque oblatione adiutus hanc aecclesiam deo cooperante consummavit.“ [... Wohin ein gewisser verehrungswürdiger Bruder Yso kam und, damit er sich ein ewiges Andenken bei Gott gründete, in diesem Gottesacker Nacht und Tag arbeitete und durch eigne Arbeit wie durch die Hilfe der Darbringung der Gläubigen diese Kirche mit Gottes Hilfe vollendet hat.]

3. Der Dom von Brandenburg. Die Urkundenstellen siehe S. 329 dieser Abhandlung.

4. Wulkow. Erzbischof Wichmann bestätigt 1172 den Prämonstratensern von Jerichow ihre Besitzungen; darunter:[7]

5) Winter, Die Prämonstratenser des 12. Jahrh. Berlin 1865, S. 349 ff.

6) Riedel, Codex diplomaticus Brandenburgensis. Berlin 1862, Bd. 24 des ersten Hauptteils, S. 322.

7) Riedel, Codex diplom. Brandenburg. III, S. 336 ff.

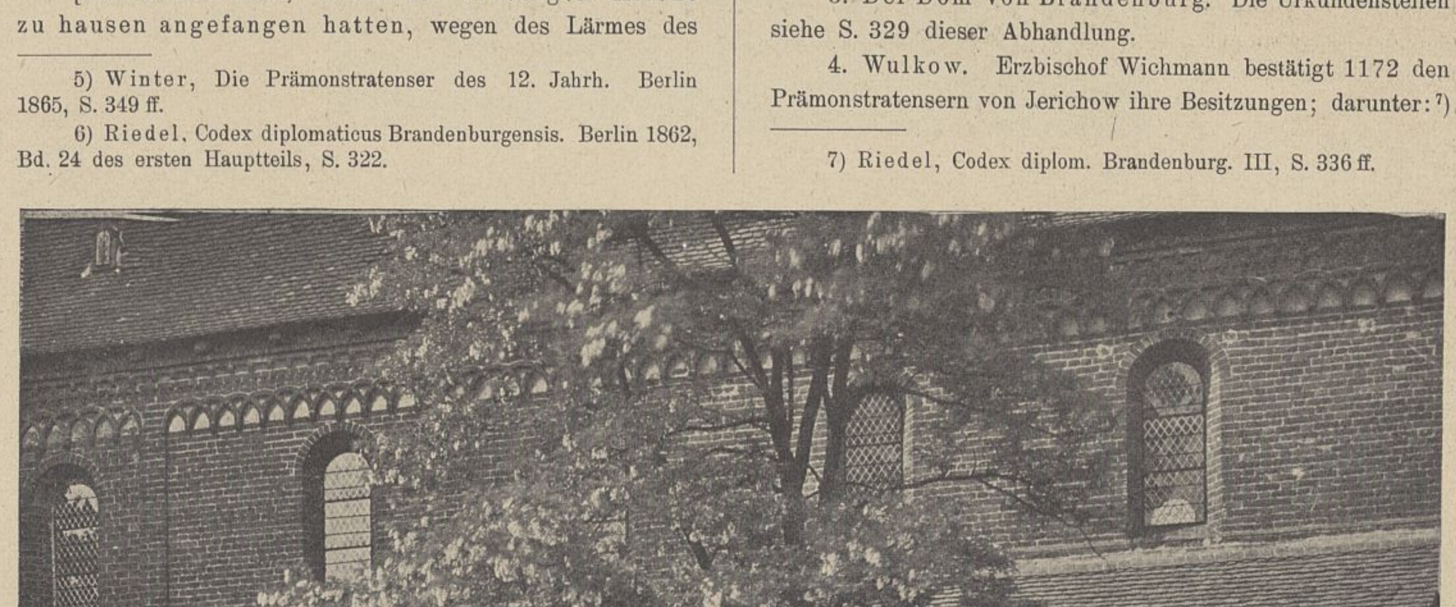


Abb. 3. Jerichow, Klosterkirche. Hochschiff, Südseite. Nach: Meßbild.

„villam quoque Wulkow et parochialem in ea ecclesiam“ [auch das Dorf Wulkow und die Pfarrkirche in ihm.]

5. St. Nikolaus in Brandenburg. Bischof Sigfrid von Brandenburg bestätigt 1173 dem Brandenburger Domkapitel, daß sein Vorgänger ihm gegeben habe:[8]) „et B. Nicolai ecclesiam et si quae aliae in ejusdem civitatis parochia in posterum fuerint aedificatae ecclesiae.“ [und die Kirche des heiligen Nikolaus und wenn irgendwelche andere Kirchen in der Pfarrei dieser Stadt späterhin gebaut werden würden.] (Abb. 5.)

6. St. Marien in Jüterbog. Bischof Balderam von Brandenburg bekundet 1183, daß sein Vorgänger Sifrid,

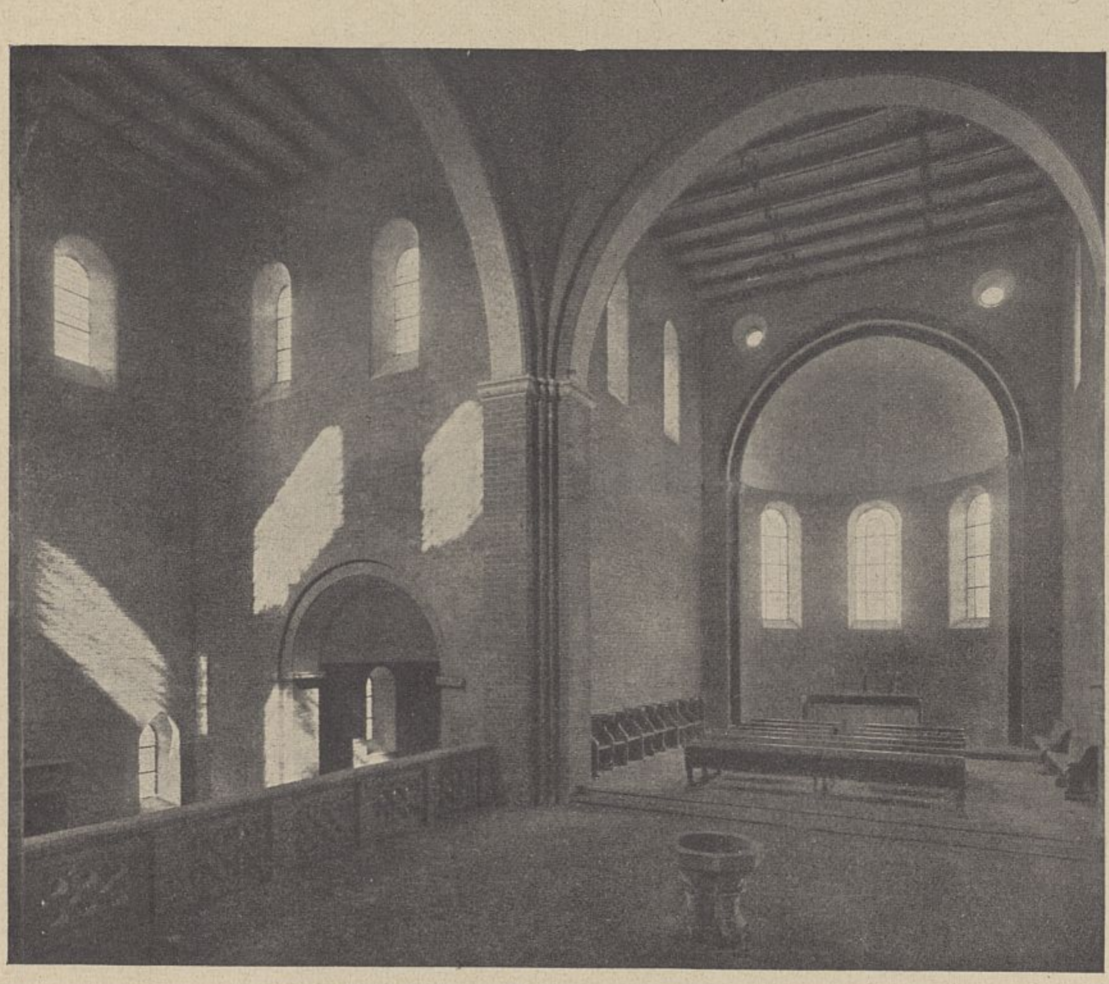


Abb. 4. Jerichow, Klosterkirche. Nach: Meßbild.

nun Erzbischof von Bremen:[9]) „eandem ecclesiam in Juterbock dedicavit.“ [diese Kirche in Jüterbog eingeweiht habe.] Dieser Bischof Sifrid hatte am ersten Weihnachtsfeiertag 1173 den Brandenburger Bischofsstuhl bestiegen und ist 1174 bei der Verleihung der Stadtrechte an Jüterbog durch den Erzbischof Wichmann dort zugegen, so daß man annehmen kann, er habe damals die Kirche geweiht.

7. Die Klosterkirche in Lehnin. Auf einem mittelalterlichen Bild stehen die Verse:

„Annus millenus centenus et octuagenus
Quando fuit Christi, Lenyn fundata fuisti
Sub patre Seboldo, quam marchio contulit Otto
Brandenburgensis; Aprilis erat quoque mensis . . .“

[Als das 1180. Jahr Christi war, bist du Lehnin gegründet gewesen unter dem Vater Sebold, welches der Brandenburger Markgraf Otto schenkte, und April war der Monat . . .] Auch die Reste der Brandenburger Chronik melden zum Jahre 1180 die Gründung Lehnins durch Otto I., den Sohn Albrechts des Bären.

8. Die Klosterkirche in Arendsee gründete derselbe Markgraf Otto I. 1184. Die Brandenburger Bischofschronik bezeugt: „Hoc anno, videlicet millesimo CLXXXIIII dictus Otto claustrum Arnsee monialium Ordinis sancti Benedicti fundavit . . .“ [In diesem Jahr, nämlich 1184, hat der genannte Otto das Kloster der Nonnen vom Orden des heiligen Benedikt, Arnsee, gegründet. . .] (Abb. 6 u. 7.)

9. Die Dorfkirche in Wust bei Schönhausen ist eine einschiffige romanische Backsteinkirche, die der Havelberger Bischof Selenbert (1191 bis 1206) konsekriert hat. Erzbischof Wilbrand von Magdeburg bestätigt:[10]) „dotem, qua venerabilis frater noster pie memorie Selenbertus quondam Hauelbergensium episcopus ecclesiam in wostitz dotauit, dum consecraret eandem . . .“ [die Ausstattung, mit der unser verehrungswürdiger Bruder frommen Angedenkens Selenbert, einst Havelberger Bischof die Kirche in Wostitz beschenkte, als er sie konsekrierte . . .] Eine Holzkirche ist dies nicht gewesen, denn eine solche kann nicht konsekriert werden.

10. Schönhausen. Im Altar der reizenden Schönhauser Dorfkirche ist 1712 folgende Weiheurkunde gefunden worden:[11]) „Anno Dominice incarnationis M. CC. XII. VII. Idus Novembris consecrata est Ecclesia in Sconehusen in honore Sancte Dei genitricis Marie et Sancti Willebrordi a venerabili Sigebodone, Hauelbergensi Episcopo . . .“ [Im Jahre der Fleischwerdung des Herrn 1212 am 7. November wurde die Kirche in Schönhausen konsekriert zu Ehren der heiligen Gottesgebärerin Maria und des heiligen Willebrord von dem ehrwürdigen Sigebodo, dem Havelberger Bischof . . .]

11. Die Marienkirche auf dem Harlunger Berge bei Brandenburg. Papst Honorius gibt am 21. März 1222 einen Ablaß für diejenigen, welche hilfreiche Hand zum Neubau

8) Buchholtz, Versuch einer Geschichte der Churmark Brandenburg. Berlin 1771, Bd. 4, S. 22 ff.

9) Riedel, Cod. dipl. Brandenburg. Berlin 1847, Haupttheil I, Bd. 8, S. 114.

10) Riedel, Cod. dipl. Brandenburg. 1863, I, 24, S. 334.

11) Riedel, Cod. dipl. Brandenburg. III, S. 340.

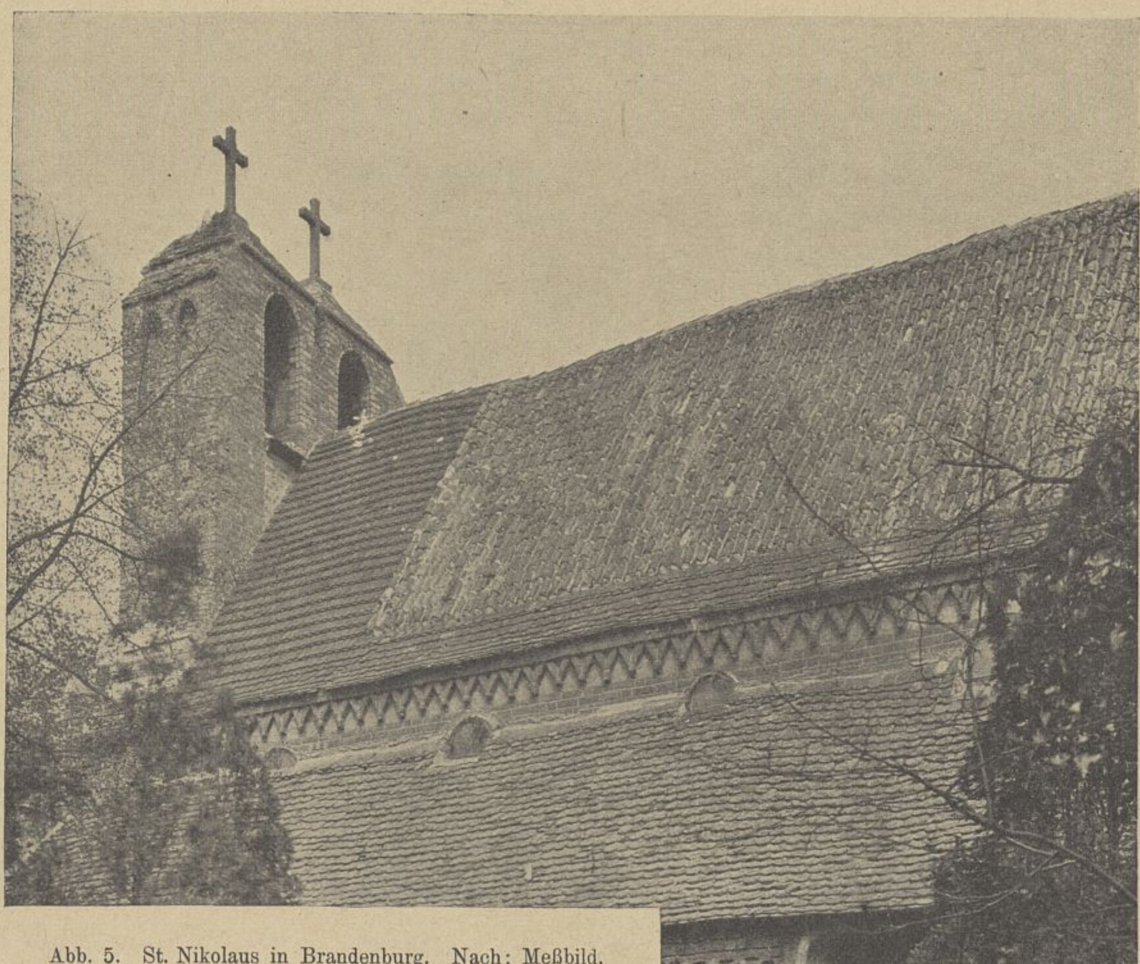


Abb. 5. St. Nikolaus in Brandenburg. Nach: Meßbild.

bieten. Er schreibt:[12]) „Cum igitur dilecti filii Brandenburgense capitulum in Brandeburg, ubi dominus Jhesus Christus per merita beate Virginis plura dignatus est sicut accepimus miracula operari, ecclesiam in honorem ipsius Virginis de novo construere ceperint nec ad ipsam consummandam proprie sibi suppetant facultates...“ [Da also die geliebten Söhne, das Brandenburger Kapitel, in Brandenburg, wo der Herr Jesus Christus durch die Verdienste der heiligen Jungfrau mehrere Wunder, wie wir gehört haben, zu wirken sich gewürdigt hat, angefangen haben die Kirche zu Ehren dieser Jungfrau von neuem zu erbauen und zu ihrer Vollendung ihnen die eignen Mittel nicht hinreichen...]

12. Die Krypta des Domes in Brandenburg. Bischof Joachim von Bredow (1485 bis 1507) hat 1488 ein Breviarium dioecesis Brandenburgensis bei Brandis in Leipzig drucken lassen. Am Katharinentage steht daselbst:[13]) „Sequenti die agitur dedicatio cryptae beatae virginis, quae facta est anno domini millesimo ducentesimo tricesimo quinto VII. Kal. Decembr.“ [Am folgenden Tage wird die Weihe der Krypta der heiligen Jungfrau gefeiert, welche im Jahre des Herrn 1235 am 25. November geschehen ist.]

Mit der Brandenburger Domkrypta sind wir bei der Gotik angelangt. Die vorhergehenden romanischen Bauten zeigen in ihren Einzelheiten eine richtige Entwicklung. Irgendwelche andere Urkunden — auch nur über den späteren Neubau einer dieser Kirchen — gibt es nicht. Die heute noch vor uns stehenden romanischen Ziegelbauten der Mark Brandenburg sind diejenigen, deren Stiftungs- und Entstehungsjahre uns jene Urkunden überliefern. Ein Haupthindernis für die Annahme, daß die märkische Backsteinkunst aus den Niederlanden stammt, besteht darin, daß es in diesen Gegenden überhaupt keine romanischen Ziegelbauten aus jener frühen Zeit gibt. Die sehr wenigen Backsteinkirchen, die bekannt sind, entstammen erst dem Ende der romanischen Kunst, als in der Mark schon ein halbes Jahrhundert lang und darüber fast jede Kirche in Backsteinen ausgeführt worden war. Daß es in den Niederlanden keine romanischen Backsteinbauten von Belang gab, hatte seine guten Gründe. Diese Gegenden waren zu römischer Zeit unbezwungenes deutsches Land. Römische Städte hatten dort nicht bestanden. Die römische Ziegelbaukunst war daher dort niemals erblüht. Die Deutschen bauten in Holz. Da diese Gegenden auch bis zur Zeit des heiligen Willibrord und des heiligen Bonifatius heidnisch blieben, so erhielten sie christliche Kirchen erst allmählich seit etwa 750. Da die Länder, die ihnen Christentum und Gesittung brachten, der Niederrhein bis zur Mosel und Westfalen, nicht in Backstein bauten, so fand sich der Ziegel erst spät in den Niederlanden ein. Überhaupt sind in Belgien und in Holland romanische Bauwerke nur spärlich anzutreffen.

Anders verhielt es sich in der Mark. Die Machthaber, welche sie eroberten, waren zu gleicher Zeit Herren von Landstrichen, in denen seit Römerzeiten ununterbrochen in Backsteinen gebaut wurde. Das war das alte Vindelizien, die Gegend um Augsburg, Moosburg, Eichstädt, wie allerdings auch Italien selbst.

12) Forschungen zur Brandenburg. und Preuß. Geschichte. Leipzig 1904. [Krabbo, Die Brandenb. Bischofswahl im Jahre 1221], Bd. 17, S. 17.

13) Der Bär. Berlin 1877. [Wernicke, Das Brandenburger Breviarium und die Krypta des Doms zu Brandenburg a. H.] S. 66.

Vindelizien hatte zur Zeit der Völkerwanderung außerhalb der Durchgangsgebiete der Deutschen nach Italien und Gallien gelegen. Die Goten kamen von Osten aus den Balkanländern und zogen über den Karst an Triest vorüber nach Italien. Die Heruler und Langobarden, welche unseren Landstrichen östlich der Elbe entstammen, überschritten den Brenner. Die Wandalen erschienen zuerst vor Mainz und stürmten die Mosel aufwärts nach Gallien hinein. Alemannen und Burgunder drängten über den Oberrhein. Dagegen das Land südwestlich der Donau blieb unberührt. Hierher eilte Stilicho im Winter 404, als er sich Alarichs nicht mehr erwehren konnte und kam mit frischen Legionen gerade noch rechtzeitig über die Alpen zurück, um Honorius zu retten. Hierher flüchteten sich römische Adelsfamilien[14]), als 565 Geiserich Rom eroberte. Denn 506 war Augsburg, bis dahin römische Provinz, im Frieden an Theoderich den Großen gefallen, als sich die altchristliche Kunst in dessen Reiche anschickte, ihren Gipfel zu erklimmen und die Meisterwerke zu Ravenna in Backstein entstanden. Die Herrschaft Theoderichs und seiner Goten wird auch für Augsburg einen Höhepunkt der Bauentwicklung in der nunmehr christlichen Stadt dargestellt haben. So kennt Venantius Fortunatus 564 die Verehrung der heiligen Afra daselbst. Ersichtlich hatte er seine Reise von Ravenna nach Gallien über Augsburg zurückgelegt, denn er sagt zu seinem Briefe, den er nach Hause sendet: „Wenn es dir erlaubt wird über die barbarischen Flüsse zu gehen, so daß du ruhig den Rhein und die Donau überschreiten kannst, so kommst du nach Augsburg, welches die Wertach und der Lech bespülen, um dort die Gebeine der heiligen Märtyrin Afra zu verehren."

Vindelizien wurde nach dem Fall des Gotenreiches schließlich fränkisch durch friedlichen Vertrag. So konnte sich dort römisches Können ungebrochen hindurchretten und mit ihm auch der Ziegelbau. Denn seitdem sich überhaupt Baunachrichten dort erhalten haben, nämlich aus der Zeit Ottos des Großen, beschreiben sie uns Ziegelbauten in Augsburg. Und heute stehen in und um Augsburg zahlreiche romanische Backsteinbauten aufrecht, der Dom allen voran. An dieser Tatsache des Bestehens der Ziegelbaukunst im 10. Jahrhundert zu Augsburg und von da ab durch die folgenden Zeiten ändert sich auch nichts, wenn man bestreitet, daß die Römer daselbst schon in Ziegeln gebaut hätten. Die Römerzeit ist lang, sie umschließt auch die der altchristlichen Kunst. Zu klassischer Zeit hat nirgendwo eine Ziegelbaukunst nach unseren und mittelalterlichen Begriffen im römischen Reiche bestanden, vom Deus rediculus und ähnlichen abgesehen. Erst gegen 300 nach Chr. setzt dieselbe ein, wie wir sie zuerst in Trier sehen. Überreste von Römervillen im Augsburgschen aus Bruchsteinen beweisen daher nichts, weil man ihr Alter nicht kennt. Jedenfalls besteht in Deutschland und zwar im Augsburgischen eine blühende romanische Backsteinschule seit dem 10. Jahrhundert, welche wir mit gutem Recht als die Mutter der nordostdeutschen Ziegelbauten ansehen können. In dem an das Augsburgische Land angrenzenden Oberbayern und Niederbayern haben sich mehr romanische Backsteinkirchen besonders auf den Dörfern erhalten als in der Mark Brandenburg. Nur fehlen dort die Urkunden. Die Inventarisation der Baudenkmäler hat folgende Backsteinkirchen oder deren Überreste in Ober- und Niederbayern festgestellt: Altötting, Alten-Erding, Egling, Frauenchiemsee, Freising, Haar, Hangenham, Haselbach, Keferslohe, Kempfing, Kirchstätt, Kleinvieht, Leoprechting, Mallertshofen, Moosburg (Münster und St. Michael daselbst), Mühldorf, Niederhummel, Oberzeiselbach, Oberhörlkofen, Oberneuching, Obertaufkirchen, Pastetten, Pesenlern, Piesenkofen, Pliening, Pullach, Ramerberg, Rottenbuch, St. Veit, Walpertskirchen, Wartenberg, Weilkirchen. In der Tat eine stattliche Anzahl, die man hier in Norddeutschland gar nicht kannte und deren Wichtigkeit sich die Bayern selbst nicht bewußt geworden sind. Allerdings sind die Backsteine sämtlich unter der Putzflut verschwunden. Wird auch erst das Augsburger Land einmal bezüglich seiner Kunstschätze aufgenommen werden, dann dürfte sich herausstellen, daß Bayern tatsächlich die meisten romanischen Backsteinbauwerke aller Länder besitzt. Von hier aus hat also seit Ottos des Großen Zeiten ständig die Übertragung des Backsteinbaues nach dem Osten des neuen Deutschlands stattfinden können, wo es wohl Ziegelton aber keine Werksteine gab.

Abb. 6. Klosterkirche zu Arendsee. Aufnahme Wolff.

Betrachten wir nun Oberitalien. Hat dieses bessere Möglichkeiten besessen, den römischen Backsteinbau über die Völkerwanderung hinweg zu retten? — Durchaus nicht! Ver-

14) Hasak, Der Kirchenbau des Mittelalters. Leipzig 1913, S. 311.

folgen wir die geschichtlichen Ereignisse weiter: Nachdem sich nordwärts der Alpen die Wogen der Völkerwanderung schon verlaufen hatten und wieder geordnete Verhältnisse eingetreten waren, bricht über Oberitalien der Sturm erst los. Nach den fürchterlichen Kämpfen zwischen Ostgoten und Byzantinern um 550 verheert Pest und Viehsterben Oberitalien jahrelang, so daß die Bevölkerung fast ausstirbt. Das benutzen die heidnischen Langobarden, die wildesten der deutschen Stämme, um sich des Landes zu bemächtigen (568). In diesen Jahrzehnten erfolgt ein schlimmerer Sturz der Kultur als 150 Jahre vorher am Rhein und an der Donau.

Die Vorstellung also, welche einem jeden zuerst vorschwebt, daß Italien den römischen Ziegelbau überliefert habe, weil es der Sitz der Kultur gewesen sei und daß daher der hiesige Ziegelbau aus Italien stammen müsse, verliert bei näherer Betrachtung der Geschehnisse an Begründung und Wahrscheinlichkeit. Oberitalien war verwüsteter und heruntergekommener als der Oberrhein und Trier anderthalb Jahrhunderte vorher, wo nun aber seit langer Zeit die Baukunst wieder in hoher Blüte stand, ebenso wie in Vindelizien, das nie verwüstet worden war. Oberitaliens Kunst erlosch damals, während sie im Frankenlande jugendfrisch erblühte. Daher sehen wir auch später die romanische Baukunst in Italien weder früher noch fortgeschrittener auftreten als in Deutschland oder in Frankreich.

Abb. 7. Klosterkirche zu Arendsee. Aufnahme Wolff.

In Italien hat sich aus der Zeit des Langobardenkönigs Luitprand († 744) eine Gesetzesvorschrift seines Vorgängers vom Jahre 713 erhalten, in der die Preise für Herstellung von Gebäuden festgesetzt werden. Unter diesen Bestimmungen finden sich zwar solche für Dachziegelarbeiten, ob aber für Ziegelmauern ist sehr fraglich[15]): „Memoratorium über den Lohn der Comaciner. 1. Von der Sala-Arbeit: Wenn er Sala-Arbeit machen soll, so rechne er für einen Solidus an Dachziegeln (tegulas) der Zahl nach 600. Wenn im Söller, so 400 für einen vertraglichen Solidus, wobei 15 Dachziegeln (tegulas) 20 Fuß bedecken.“ Hier handelt es sich ersichtlich um das Dachdecken oder um das Behängen der Außenwände mit Ziegeln. Wie wir bei Vitruv sehen, waren die Ziegeln 1,5 Quadratfuß groß; so können 15 Ziegeln 20 Quadratfuß Dachdeckung und Verkleidung hergeben. Die Sala lag wohl im Erdgeschoß, der Söller im ersten Stock. Daher war das Verkleiden der Salawände billiger als das des Söllers im ersten Stock.

„2. Von dem Mauerwerk. (De muro.) Wenn er aber Mauerwerk machen soll, welches bis einen Fuß stark ist, so soll der Lohn verdoppelt und bis zu fünf Fuß verfünffacht werden. Und von diesem Mauerwerk gehen auf einen Solidus 225 Fuß. Wenn er aber Gerüst vorhalten soll, so gebe er 180 Fuß für einen Solidus und zwar bis fünf Fuß hoch; der Länge nach aber 15 Fuß für einen Tremissis . . .“

„Vom Dachwerk. . . . . Und wisse, wo ein Dachziegel hingelegt wird, gehen 15 Schindeln hin, weil 150 Dachziegeln 2500 Schindeln ersetzen . . . .“ Wäre der Backsteinbau damals in Italien gebräuchlich gewesen, so dürfte man einen anderen Wortlaut erwarten.

Doch zurück zur Mark Brandenburg.

Daß die vorher aufgeführten romanischen Backsteinbauten der Mark diejenigen sind, welche die Urkunden erwähnen, wird durch folgende Gründe erwiesen: 1. Sie gleichen in ihren Einzelformen den benachbarten romanischen Hausteinbauten aus der Mitte des 12. Jahrhunderts, also aus derselben Zeit. 2. Sie zeigen sich in ihren Einzelheiten wie in der Gesamtanlage in derselben Reihenfolge immer entwickelter, wie sie auf Grund der Urkunden hintereinander entstanden sind. 3. Es gibt keine einzige Urkunde, die auch nur bei einem dieser Bauten von einem Neubau nach rd. 50 Jahren berichtet. 4. das Unwahrscheinliche müßte geschehen sein, daß sämtliche Bauten in derselben Reihenfolge nochmals aufgeführt worden seien, in der sie einstens gegründet wurden. Denn das beweist die Aufeinanderfolge ihrer Formen. Für jeden der sich nicht auf die irrige Annahme festgelegt hat, die romanische Baukunst habe im 13. Jahrhundert geblüht, ist es daher erwiesen, daß die romanischen Backsteinbauten der Mark noch die ursprünglichen der Urkunden sind und

15) Hasak, Der Kirchenbau des Mittelalters. Leipzig 1913, Seite 303 ff.

daher zur Hauptsache dem 12. Jahrhundert entstammen. Die von mir herausgegebenen „Zeittafeln der Denkmäler mittelalterlicher Baukunst von Franz Mertens“, Berlin, Wasmuth, 1911, zeigen das allmähliche Absterben der romanischen Baukunst bis rd. 1220 überall klärlich auch für diejenigen, welche nicht durch das Sammeln der Urkunden sich diesen Nachweis selbst erbringen können. Dieses überaus hervorragende Werk deutschen Gelehrtenfleißes verdient die allgemeinste Beachtung.

Nun ist mir aber der Nachweis geglückt, daß der Backsteinbau nicht bloß seit dem 12. Jahrhundert in der Mark gepflegt worden ist, sondern daß er schon viel früher, wahrscheinlich schon bei dem Neubau des Domes in Brandenburg unter Otto dem Großen, als er das Bistum 948 gegründet hatte, eingeführt worden ist. Denn der jetzige Dom birgt noch beträchtliche Reste eines viel älteren Baues als der ist, in welchen Bischof Wilmar 1165 die Prämonstratenser als Domherren einführte.[16]) Wenn man nämlich die Urkunden nach der letzten endgültigen Eroberung Brandenburgs 1157 durch die Deutschen richtig liest, ergibt sich ganz deutlich, daß damals noch der alte Dom teilweise vorhanden und von den Heiden als Götzentempel benutzt worden war. Das Chronicon Pulkawas berichtet zum Jahre 1165 wie folgt[17]): „In diesem Jahre, nämlich 1165 am 8. September, errichtete, wie durch die Chronik des Brandenburger Bistums bezeugt wird, der Brandenburger Bischof Wolmar, der seinen Sitz sehr in die Höhe gebracht und die Stadt Brandenburg gegen die Nachstellungen der Heiden zu befestigen befohlen hatte, auf den eifrigen und wohl überlegten Rat des Markgrafen Albrecht, genannt der Bär, wie auch seiner Söhne den Bischofstuhl in der Stadt, indem er dorthin die Stiftsherren des Prämonstratenserordens, welche damals in der Kirche des hl. Gotthard in der Brandenburger Vorstadt lebten, in feierlichem Zug der Geistlichkeit und des Volkes überführte und verpflanzte, da ja nach der Vernichtung des Unflates der Götzenbilder dort unablässig Gott lobgesungen wurde, wo man früher den Dämonen ohne Furcht und nicht ohne Beleidigung Gottes diente. In demselben Jahre legte der besagte Bischof, da er beschlossen hatte, die Basilika des hl. Apostelfürsten Petrus daselbst zu vollenden, den Grund am 2. Oktober, wie er es sich vorgenommen hatte.“

Abb. 8. Dom in Brandenburg. Nach: Meßbild.

Aus dieser Darstellung ergibt sich, daß 1165 eine Basilika des hl. Petrus vorhanden war, in der man den Götzen geopfert hatte, die nun aber den Prämonstratensern als Domkirche überwiesen wird und die der Bischof zu vollenden beschließt. Daß diese Basilika nicht von den Heiden selbst errichtet worden war, daß sie nur die alte Bischofkirche sein konnte, welche Otto der Große erbaut hatte oder einer seiner Nachfolger, etwa Otto III., als er 996 die aufständischen Slawen besiegt und weit nach Polen hinein eine neue Reihe Bistümer gegründet hatte, Kamin, Gnesen, Breslau, dürfte klar sein. Sie war dann wiederum in die Hände der Heiden gefallen. Diese beschließt der Bischof Wilmar zu vollenden. Zu dieser Vollendung legt er den Grundstein am 2. Oktober 1165. Heinrich von Antwerpen, welcher unter dem Propst Alverich (1217 bis 1231) Prior in Brandenburg war, berichtet in seinem Tractatus de urbe Brandenburg, den er vielleicht schon vor 1180 geschrieben hat[18]), über die Grundsteinlegung noch eingehender[19]): „Da in demselben Jahr der vorgenannte Bischof Wilmar das gut Angefangene durch ein noch besseres Ende vollenden wollte, so legte er fromm im Namen unseres Herrn Jesus Christus den Grund der Basilika des hl. Apostels Petrus am 2. Oktober, nachdem 24 Fuß tiefe Grundmauern darunter hergestellt worden waren“ (Abb. 8).

Welcher Teil des Domes ist nun dieser Vollendungsbau des Bischofs Wilmar? — Dies kann nur das Langschiff sein.

16) Magdeburgische Zeitung, Montagsblatt, 1913, Nr. 37 ff. [Hasak, Das Alter des Domes zu Brandenburg.]

17) Dobner, Monumenta historica Boemiae. Prag 1774, Bd. 3. (Chronicon Pulkavae), S. 189.

18) Potthast, Wegweiser durch die Geschichtswerke des europäischen Mittelalters. Berlin 1896, Bd. I, S. 578.

19) Monumenta Germaniae historica. Scr. XXV, S. 482 ff.

Seine Kämpferkapitelle aus Sandstein mit romanischer Verzierung entsprechen der Zeit von 1165. Dieses Langschiff stößt auch gegen die Kreuzschiffswand ohne Verband. Ein Beweis, daß das Kreuzschiff eine Zeitlang für sich abgeschlossen dagestanden hat. Wäre es umgekehrt, daß das Langschiff der alte Bau gewesen wäre, an welches der Bischof ein neues Kreuzschiff anbaute und daß er dieses Langschiff zuerst als Kirche benutzt hätte, so würde die Abschlußwand für dieses Schiff gefehlt haben. Auch alle Wunderlichkeiten der Krypta in ihren vermutlichen Zugängen usw. lösen sich von selbst dadurch, daß sie wie das Kreuzschiff eine Zeitlang im Westen abgeschlossen gewesen ist oder als Zugang gedient hat. Dadurch erklärt sich auch die befremdliche und in keinem anderen Dom vorhandene Abtrennung der Seitenschiffe von diesem Kreuzschiff. Es drängt sich noch die Frage auf: Hatte denn der alte Dom kein Langschiff besessen? Doch, aber dieses war zusammengestürzt. Bischof Wilmar bekundet 1170: „Da es unsere Pflicht ist, sich um die Religion zu bemühen, nämlich ihre Schäden auszubessern, den Zuwachs zu vermehren, sowie wir die Bischofskirche des hl. Apostels Petrus in Brandenburg, die seit langer Zeit zerstört und von den Heiden fast vernichtet war, mit Gottes Hilfe wieder aufgebaut haben, so bemühen wir uns, sie auf alle Weise, soweit dies die göttliche Gnade gestattet, zu erhöhen“ (Abb. 9 u. 10).



Abb. 9. Dom in Brandenburg, Ostseite. Nach: Meßbild.

Diese damals noch vorhandengewesenen Überreste der alten Domkirche sieht man auch heute noch ganz deutlich vor Augen. Es sind dies die unteren Teile des Kreuzschiffes und des unteren Chors. Sowohl am nördlichen Kreuzarm, im Hofe des Kreuzganges stehend, wie am Südkreuz, sieht man außen Ziegelsteine, welche durchweg fast genau das Normalformat von heutzutage aufweisen. Auch innen in der Krypta kann man, soweit dies der Putz gestattet, diese kleinen Ziegelabmessungen feststellen. (Die Pfeilervorlagen daselbst mit ihren Ecksäulchen sind erst kurz vor 1165 dagegengesetzt.) Auch der Augsburger Dom weist ähnlich kleine Abmessungen auf, wie mir der dortige Herr Baurat Schmid liebenswürdigst mitteilte. Nämlich 6 oder 7 cm zu 17 cm zu 33 oder 37 cm. Die Backsteine der alten Teile des Brandenburger Domes sind 6,5 cm hoch, 12 bis 13 cm breit und 25 cm lang. Die Westteile des Augsburger Domes waren 994 teilweise zusammengestürzt und sofort wieder aufgebaut worden. Die Augsburger Jahrbücher berichten zum Jahre 994[20]): „Der Dom von Augsburg stürzte von selbst ein.“ Der Bischof Liutold, welcher sich gerade bei der Witwe Kaiser Ottos I., der hl. Adelheid, befand, erhielt die Nachricht:

„Die Westmauer eurer Mutterkirche ist auf göttlichen Ratschluß eingestürzt.“

Zum Jahre 995 heißt es in diesen Jahrbüchern:

„Bischof Liutold baute den Tempel von Grund auf mit Hilfe der Kaiserin Adelheid.“

1075 baut dann der Bischof Embrico die beiden Türme an, welche genau wie unsere märkischen Türme des 12. Jahrhunderts aussehen. In der allerdings späten Chronik von Gasser (Annales de Republica Augsburgensi), Handschrift von 1593 in der Augsburger Stadtbibliothek, heißt es:

„1075 und nicht lange nach jenen Gebäuden der St. Gertruds-, St. Stephans- und St. Georgskapelle fügte er im Jahre Christi 1075 zwei Glockentürme seiner Bischofkirche an.“

Diese Türme zeigen alle die Einzelheiten der romanischen Backsteinkirchen der Mark im 12. Jahrhundert.

Der Brandenburger Dom wie der Westbau des Augsburgers sind somit die ältesten Ziegelbauten Deutschlands nachrömischer Zeit. Nur die Schiffspfeiler der von Einhart gegen 830 erbauten Stiftskirchen zu Seligenstadt am Main und in Steinbach bei Michelstadt (Odenwald) sind noch älter.

Von Einhart dem Liebling Karls des Großen, hat sich auch ein Schreiben mit Aufträgen an einen gewissen Egmunel erhalten, in welchem er Ziegel bestellt. Dieses lautet:

„Dem geliebten Bruder N. Einhart Gruß in dem Herrn. Wir wollen, daß du Egmunel über unseren Auftrag unterrichtest, daß er uns quadratische Ziegeln herstellt, welche nach jeder Seite zwei Handfuß haben und vier Finger in der Dicke, 60 Stück; und andere kleinere ebenso quadratisch, nach jeder Seite ein Semissis und vier Finger, und drei Finger in der Dicke, an Zahl 200.“[21])

Der Ziegelbau war also schon vor der Eroberung Ostelbiens durch die Deutschen im 12. Jahrhundert eine bekannte und gepflegte Bauweise in Deutschland und zwar insbesondere in Bayern. Damals aber kamen ostwärts der Elbe Landstriche mit Ziegellehm, die der Hausteine entbehrten, von bisher unbekannter Ausdehnung zur Besiedlung und Bebauung, und so erblühte eine Ziegelkunst von nie gesehener Ausbreitung.

Daß sie nicht aus Italien stammte, sondern deutsches Eigengut war, beweist schließlich noch ganz unwiderleglich die Herstellungsweise der Backsteine. Dieselbe war damals eine völlig andere als in Italien.

20) Monumenta Germaniae historica. Scr. III, S. 124. (Annales Augustani). Hannover 1839.

21) Jaffé, Monumenta Carolina S. 479 ff.

Die Ziegeln wurden damals in Deutschland wie heutzutage in Kästen gestrichen. Dadurch werden sie, soweit dies das Brennen nicht verändert, untereinander gleich und von sauberer Gestalt. Diese Herstellungsweise beschreibt auch der hl. Raban von Mainz und Fulda in seinem „De Universo" schon gegen 830 n. Chr. Er sagt[22]):

22) Hrabani Mauri opera a Pamelio olim collecta. Köln 1626. (De Universo).

„Daher sind Steine verschiedenster Art für den Aufbau passend . . . Von den künstlich gemachten werden zu den Wänden und zu den Grundmauern gebrannte Ziegelchen (cocti laterculi), zu den Dächern Regen- und Deckziegel (imbriculae tegulaeque) passend hergestellt. Deckziegel (tegulae) werden sie genannt, weil sie die Gebäude eindecken, und Regenziegel (imbrices), weil sie den Regen aufnehmen. Tegula aber ist die erste Stufe des Wortes, dessen Verkleinerung Tigillum. Laterculi aber werden sie genannt, weil sie breit (lati) ausgebildet werden, umgeben ringsum von vier Brettchen. Die Lateres aber sind roh. Sie werden ebenfalls davon so genannt, daß sie breit in Holzformen hergestellt werden (in ligneis formis efficiuntur). Dabei wird Hürden (crates) das genannt, auf welchem man den Lehm für diese rohen Ziegeln zu tragen pflegt. Es sind nämlich Verbindungen von Ruten, genannt apo tou cratein, d. h. was sich gegenseitig hält. Der Lehm (lutum) aber wird so genannt, wie einige meinen, des Gegenteils halber, weil er nicht rein sei, denn alles Gewaschene (lotum) ist rein."

Abb. 10. Dom in Brandenburg, Südkreuz. Teil aus der Zeit Ottos des Großen, 948.
Nach: Meßbild.

In Italien jedoch und gerade zu der Zeit, als sich der Ziegelbau in Ostdeutschland wie in Oberitalien zu neuer, nie gesehener Blüte entwickelt, also im 12. Jahrhundert, herrscht eine ganz barbarische Art der Herstellung der Backsteine in Venedig wie in Pavia wie in Unteritalien. Kein Stein ist dem anderen gleich, weder in der Länge noch in der Höhe noch in der Breite. Ersichtlich haben die Italiener große Lehmkuchen geschlagen oder gestrichen und aus diesen durch parallele Schnitte mit dem Messer die Ziegeln herausgeschnitten.

Ob die Römer ihre Backsteine auf deutsche Art oder auf italienische Art hergestellt (ducere) haben, konnte ich noch nicht feststellen. Hier seien nur die römischen Bezeichnungen in der Zieglerkunst aus Vitruv zusammengestellt, die zumeist völlig unzutreffend übersetzt werden. Tegula heißt Dachziegel; later oder later crudus ungebrannter Ziegel, murus latericius Mauer aus ungebrannten Ziegeln, testa oder later coctus gebrannter Ziegel, murus testaceus Mauer aus gebrannten Ziegeln, ducere heißt Ziegeln herstellen, lateres ducere. Der Nachweis hierfür sei einer Schilderung der römischen Backsteinbaukunst vorbehalten. Doch zurück zu den Ziegeln auf italienische Art.

Das Mauerwerk aus solchen völlig ungleichen Steinen sieht wenig schön aus. Wenn nun die Italiener erst gegen Ende des 12. Jahrhunderts sich dieser barbarischen Herstellung entledigen und zu der in Deutschland üblichen übergehen, dann liegt doch aller Grund zu der Annahme vor, daß die Italiener diese Herstellungsart von den Deutschen

erst gelernt und übernommen haben, von den Deutschen, die seit Jahrhunderten schon in der fortgeschrittenen und besseren Art ihre Ziegel herstellten.

Wenn also die Herstellungsart der Ziegeln in der Mark nach menschlichem Ermessen eine deutsche ist, welche die Italiener erst damals übernahmen, als sie selbst den Ziegelbau wieder in ausgedehntem Maße zu betreiben anfingen, warum sollen dann gerade die Einzelformen der künstlerischen Ausgestaltung des Backsteinbaues von den Italienern stammen und nicht ebenfalls von den Deutschen? Das ist nämlich die letzte Ausflucht der Verteidiger Italiens als Erfinderin unserer Backsteinkunst.

Denn gerade diejenigen Einzelheiten, die der italienische Backsteinbau zu altchristlicher Zeit aufweist, hat die romanische Kunst diesseits wie jenseits der Alpen aufgegeben und verwendet nur die Einzelheiten des gleichzeitigen romanischen Hausteinbaues auf Ziegelweise umgewandelt.

Diese Umwandlung der Einzelheiten aus der Hausteinkunst will für Italien um so weniger einleuchten als dort die riesigen Ziegelbauten mit den altchristlichen Einzelheiten noch aller Welt vor Augen standen und daher eine Neuschaffung von Ziegeleinzelheiten weder nötig war noch nahe lag, insbesondere, wenn diese Neuschaffung nur eine Nachahmung der gleichzeitigen Hausteineinzelheiten war. Anders dagegen in Deutschland. Altchristliche Ziegelbauten werden im Augsburgischen kaum noch aufrecht gestanden haben, als sich die romanische Kunst entwickelte, in Brandenburg aber gab es überhaupt keine Baureste altchristlicher Zeit und so griff man selbstverständlich zu den Einzelheiten der gleichzeitigen Hausteinkunst. Waren es doch dieselben Baumeister, welche östlich der Elbe in Ziegeln bauen mußten, nachdem sie westlich derselben in Haustein gearbeitet hatten. Also auch für die neuen Backsteineinzelheiten ist viel eher Deutschland das Mutterland als Italien.

Das wird um so einleuchtender und gewisser, je irriger sich auch die anderen Gründe herausstellen, die auf italienische Herkunft gedeutet wurden. Da sollten die romanischen deutschen Ziegelbauten keine Fensterschrägen auf den Sohlbänken besitzen. Das stamme eben aus dem Sonnenlande Italien, wo es so wenig regnet, daß man keine Schrägen nötig habe. — Aber die Hausteinbauten jener Zeit in Deutschland besitzen ebenfalls keine schrägen Sohlbänke! Ganz ebenso verhält es sich mit der italienischen Herkunft der Kirche zu Dobrilugk. Da wären keine Glasfalze in den Fenstern, weil in Italien die Fenster nicht verglast gewesen seien. So mußten die armen Nordländer nun in „Toberluch“ frieren wegen der italienischen Schulung ihres erleuchteten Baumeisters. — Daß solche Fenster wie die zu Dobrilugk auch ohne Glasfalze verglast waren, zeigt mein Nachweis im Handbuch der Architektur[23]) bei der Verglasung. Aber nicht bloß Dobrilugk war verglast, auch alle italienischen Kirchen waren verglast, oder mit durchbrochenen Gips- oder Marmortafeln ausgestattet, wo man es nur halbwegs erschwingen konnte. Solch grause Barbarei hat nie geherrscht, daß man bei offenen Fensterlöchern lebte. Das Sammeln der Urkunden zeigt, daß solche Ansichten ohne Begründung sind. Schließlich ist die Gesamterscheinung der deutschen Bauten eine ganz andere als die der italienischen und die oberitalienischen Bauten ähneln viel mehr den deutschen als den übrigen Bauten Italiens, daß selbst Venturi in seiner so umfassend durchgeführten Geschichte der italienischen Kunst wie folgt schreibt:[24]) „Die Beziehungen der lombardischen Kunst zur deutschen leiten sich auch von der Tatsache her, daß häufig im Norden Italiens die Klöster mehr von Ausländern als von Italienern bevölkert waren. Auf 161 Priester, die von Olderich, dem Bischof von Brescia genannt werden, waren nur 25 Nichtdeutsche oder Franzosen. Die natürliche Lage machte aus Verona wie aus Mailand Einströmungsöffnungen der deutschen Kunst.“ — Der märkische Ziegelbau wie der der gesamten norddeutschen Tiefebene stammt also aus Deutschland, aus dem Augsburgischen, und zwar die Herstellungsweise des Ziegels wie die künstlerischen Einzelheiten des Bauwerkes wie dessen Gesamthaltung. Die Italiener haben alle Verbesserungen und Verfeinerungen der Deutschen erst später nachgeahmt.

Der Deutsche ist leider zu sehr geneigt, alles fremden Völkern zuzutrauen, nur nichts sich selbst. Wie sagt doch Jakob Grimm[25])? „Es ist ein alter Zug der Deutschen ihr Eigentum immer am letzten anzuerkennen und am ersten preiszugeben.“

Im vorstehenden haben wir den einen Ast romanischer Ziegelbaukunst im Osten unseres Vaterlandes geschildert, der sich vom Erzbistum Magdeburg her ausbreitet.

Ein zweiter Ast zweigt sich durch Heinrich den Löwen nach den Gestaden der Ostsee ab. Schon seinem Großvater, Kaiser Lothar von Supplingenburg, verdankt die Kirche zu Segeberg vor 1137 ihr Entstehen.

Nach dem Tode Lothars 1137 verbrennen die Slawen die Vorstadt mit der Kirche. Helmold berichtet in seiner Slawenchronik:[26])

„Dort ist das neue Gotteshaus (oratorium) und das neue Klostergebäude durch Feuer vernichtet worden.“

Die Kirche wird aber bald von neuem begonnen, denn der Nachfolger, Kaiser Konrad III., spricht in einer Urkunde von 1139 von der „angefangenen Kirche.“[27])

Der Glanzpunkt dieses zweiten, gewölbten Astes der nordischen Backsteinbaukunst, der Dom zu Lübeck, ist seiner Entstehungszeit nach unter Heinrich dem Löwen zwischen 1170 und 1182 völlig gesichert. Der gleichzeitige Helmold berichtet zum Jahre 1159 folgendes:[28])

„Um diese Zeit bat der Herr Bischof Gerold den Herzog, daß der Bischofssitz, der von altersher in Oldenburg war, nach Lübeck übertragen würde . . . Und der Herzog bezeichnete den Ort, wo das Gotteshaus mit dem Titel der Domkirche gegründet werden sollte . . . “

1163 erkrankt Bischof Gerold „und er bat Gott, daß er ihm das Leben verlängere bis er die Lübecker Kirche geweiht haben würde.“ (dedicaretur.)

23) Hasak, Der Kirchenbau des Mittelalters. Leipzig 1913, S. 139.

24) Venturi, Storia dell' arte italiana. 1904, Bd. 3, S. 113.

25) Jakob Grimm, Über Jornandes. Abhandlungen der Kgl. Akademie der Wissenschaften. Berlin 1844, S. 49.

26) Monumenta Germ. hist. Scr XXI. Hannover 1869. S. 52 ff.

27) Codex diplomaticus Lubecensis. Lübeck 1843, Teil I, S. 1 ff.

28) Mon. Germ. hist. Scr. XXI, S. 82.

Der Erzbischof nimmt selbst die Weihe vor: „Nachdem er aber nach Lübeck gekommen war, nahm ihn der Herzog und der Bischof mit großem Gepränge auf und gingen an das Werk der Weihe.“ Aus was dieser Dom hergestellt worden war erzählen die Lautenberger Chronik und die Pöhlder Jahrbücher[29]: „Im Jahre des Herrn 1163 . . . setzte Herzog Heinrich in Lübeck das Geistlichenstift ein. Die dort aus Holz hergestellte Kirche ließ er Maria und dem heiligen Nikolaus weihen . . . “.

Bischof Gerold stirbt noch im Jahre 1163 und wird mitten im Dom begraben: „Seine Leiche, nach Lübeck gebracht wurde von der Geistlichkeit und den Bürgern ehrenvoll dem Grabe übergeben inmitten der Basilika, die er selbst gegründet.“

Nach der Rückkehr Heinrichs des Löwen aus dem Heiligen Lande 1171 oder 1172 findet dann die Grundsteinlegung zu einem steinernen Neubau dieses Domes statt. Der Fortsetzer Helmolds Arnold erzählt:[30])

„Der Herzog aber begann um dieselbe Zeit die Lübecker Kirche zu Ehren des hl. Johannes des Täufers und des hl. Bekenners Christi Nikolaus zu bauen. Und er legte den ersten Stein in den Grund mit dem Bischof Heinrich.“

Dieser Dom wurde größer als der hölzerne Vorgänger. Die Magdeburger Schöppenchronik erzählt zum Jahre 1170: „In dussem Jare begunde Hertoge Hinrick de Lauwe unde Biskop Hinrick den Dom groter to maken, de noch hude in den Dach steyt to Lubke, dar de Hertoge den ersten Stein to leyde.“

Das gleiche berichtet die Inschrift im Dom neben der Nordertür, die dem 15. Jahrhundert entstammen wird:

„Im Jahre des Herrn 1170 wurde gegenwärtige Kirche erbaut durch den Herrn Heinrich, Herzog von Bayern und Sachsen; und durch den Herrn Heinrich, dritten Bischof von Lübeck und Gründer des Klosters zum hl. Johannes in Lübeck konsekriert zu Ehren des hl. Johannes des Täufers und Nikolaus, des Bekenners Jesu Christi.“

1170 ist also der Neubau in Ziegeln begonnen worden, 1172 hat die feierliche Grundsteinlegung und noch vor 1182 die Konsekration stattgefunden, da der konsekrierende Bischof Heinrich 1182 stirbt. So ist die Entstehung des Lübecker Domes gut überliefert und belegt.

Den Dom zu Ratzeburg hatte Heinrich der Löwe seit 1154 begonnen. Doch ist sein allmäliges Werden nicht ebenso gesichert. Er ist nicht sogleich auf Gewölbe angelegt und ist erst während des Hochführens für die Wölbung umgearbeitet worden, die schon den Spitzbogen zeigt.

Von hier aus springt der Ziegelbau bis nach Riga hinauf. Dort wird 1211 der Dom in Backstein aufgeführt und ist innen schon mit Spitzbögen ausgestattet.

Waren die dem Erzbischof von Magdeburg unterstehenden Backsteinkirchen fast sämtlich nur mit Holzdecken ausgestattet, so zeigt dieser zweite Ast ausschließlich Gewölbe. Auch das dem Bischof von Verden unterstehende Diesdorf war schon 1161 gewölbt. In Verden selbst entstanden damals mächtige Backsteinbauten. Allerdings fehlt für sie jedweder urkundliche Nachweis über ihre Entstehungszeit. Aber die kleinen Abmessungen der Backsteine des Verdener Domturmes legen eine sehr frühe Entstehung desselben nahe. Die Ziegeln messen $5 \times 11 \times 26$ cm. Er gleicht auffallend den romanischen Backsteintürmen im Augsburgischen, zu Moosburg und Eichstädt; wir kommen gleich auf sie. Die Wölbetätigkeit in diesem romanischen Zweige der Ziegelbaukunst dürfen wir vielleicht dem Hinterlande von Verden zuschreiben, wo sich Lippe-Detmold durch eine große Zahl gewölbter romanischer Dorfkirchen auszeichnet. Stammte doch auch Vizelin, der Apostel Wagriens aus Höxter, dessen Türme völlig denen des Lübecker Domes gleichen. Auch der Ostbau zu Königslutter war seit 1137 gewölbt.

Die Ziegeln des Verdener Domturmes sollen abweichend von den märkischen Backsteinen italienische Riefelung zeigen. Der Bischof Hermann von Verden, der 1161 Diesdorf weihte, wie wir sahen, war lange Jahre der ständige Begleiter Kaiser Friedrich Barbarossas in Oberitalien. Vielleicht hatte er italienische Ziegelstreicher mitgebracht. Inwieweit diese italienische Zieglerkunst an den Kirchen des zweiten Backsteinastes etwa noch nachzuweisen wäre, habe ich nicht feststellen können. Die Kunstschriftsteller haben diese Riefelung bisher als eine Nachahmung des Werksteinbaues betrachtet!

Der Backsteinbau treibt einen dritten Ast nach Südosten. Schlesien und Polen nehmen noch in der letzten Zeit des romanischen Stiles den Backsteinbau auf. In Breslau und Krakau sind es die beiden Dominikanerkirchen, welche die reichen durcheinandergesteckten Spitzbogenfriese der spätromanischen Kunst unter dem Hauptgesims und auf ihren Giebeln zeigen. Die zu Krakau ist 1224 geweiht. Die erst 1237 gegründete Franziskanerkirche in Krakau greift sogar auf den Rundbogenfries zurück trotz Strebepfeilern und gotischen Dächern. Die Gotik hält hier im Osten gerade so früh wie im Westen Deutschlands ihren Einzug. Die Klosterkirche zu Trebnitz, zwischen 1201 und 1219 erbaut, und der Dom zu Breslau, zwischen 1232 und 1267, zeigen dieselben Formen wie der Dom zu Bamberg, geweiht 1237, und der zu Naumburg, welcher gegen 1230 entstanden ist. Da in Schlesien auch reiche Sandsteinbrüche vorhanden sind, so zeigen diese beiden frühen Bauten zu Breslau und Trebnitz schon jene Mischung des Backsteins mit dem Werkstein, wie sie die späteren Bauten ständig daselbst aufweisen: die Flächen aus Backstein, Simse und Maßwerke aus Werkstein.

Gehen wir nun ins Augsburgische, in das Urland des deutschen Backsteinbaues, so bietet die Stadt Augsburg eine ganze Reihe romanischer Bauten, allerdings zumeist nur in Überresten. So St. Peter am Perlachsberg, Heiligkreuz, St. Moritz, St. Georg (1072 und 1135 bis 1143). Auch in den umliegenden kleineren Ortschaften finden sich noch romanische Ziegelbauten zumeist Kirchtürme z. B. in Göggingen, Inningen, mit zahlreichen Rundbogenfriesen, Gersthofen, Bergheim(?), Oberhausen, Lechhausen(?). Dann die mächtigen Türme zu Moosburg, Eichstädt und Freising. Vieles ist in Bayern unter der Putzflut, welche sich anscheinend seit der Renaissancezeit über die Ziegelbauten ergossen hat, verschwunden und da die Bayern bisher nicht selbst auf ihre alten romanischen Backsteinschätze aufmerksam geworden sind und nicht ahnten, daß sie den Ruhm für ihre Heimat in Anspruch nehmen können, das Mutter-

29) Mon. Germ. hist. Scr. XVI. Hannover 1859, S. 92.

30) Mon. Germ. hist. Scr. XXI. Hannover 1869, S. 127.

land der norddeutschen Ziegelbaukunst zu sein, so werden sich die alten romanischen Backsteinbauten im Augsburgischen sicher noch vervielfältigen lassen, wird dieses Land daraufhin durchforscht und der Urkundenschatz zusammengetragen. Am hervorragendsten scheint Thierhaupten am Lech vor 1170 zu sein.

Wir besitzen in Deutschland noch zwei Backsteingegenden. Das ist die Stadt Straßburg und der Niederrhein. In Straßburg sind die Wohnhäuser sämtlich in Ziegeln hergestellt. Zur künstlerischen Durchbildung scheint der Backstein wohl nach den Abbildungen alter Bauten im Mittelalter gelangt zu sein. Erhalten ist jedoch nichts. In Zabern zeigt der Theobaldsturm Ziegeln auf italienische Art. Der Niederrhein bemächtigt sich des Backsteins erst in späterer Zeit.

Im benachbarten Holland, welches als Mutterland unseres märkischen Backsteinbaues angesprochen wurde, finden sich nur wenige romanische Backsteinbauten; wie Holland und Belgien überhaupt arm an romanischen Bauten sind. In Gröningen und Friesland sollen nach Nieuwenhuis[31]) folgende romanischen Ziegelkirchen auf Dörfern vorhanden sein: Renhun, Gent, Briswert, Schingen, Jorwert, Schalsum, Aalsum, Hoogebeintum. — Die Erlöserkirche in Brügge besitzt noch einen romanischen Ziegelturm, aber die oberen Teile sind neu.

Während also die Ziegeln Deutschlands von Anbeginn in Kästen gestrichen wurden und für diese Herstellungsweise verhältnismäßig sehr glatt sind, zeigen die Profilziegeln aber scharrierschlagartig bearbeitete Flächen, ebenso die runden glatten Ziegeln der Apsiden wie in Lehnin, eine Bearbeitung die jedoch unter der Brandhaut liegt. Ersichtlich sind die lufttrockenen Steine mit dem Steinmetzeisen bearbeitet und dann erst gebrannt worden.

Hier in der Mark finden wir gleich an der frühesten großen Anlage, der Prämonstratenserklosterkirche zu Jerichow, gegen 1150, den Schritt vorwärts getan, den Backstein auch im Innern zu zeigen. Die Backsteine der Bögen sind sämtlich sichtbar (Abb. 4). Die Säulen sind völlig in Ziegeln hergestellt, Basen, Schäfte und Kapitelle sind backsteingemäß umgebildet. Diese Ziegelsäulen mit gezeigten Backsteinen sind die ersten ihrer Art. Auch die Wände zeigen ihre Backsteine bis oben hinauf unter die Holzdecke. Nur die Laibungen der Bögen und der Fenster sind geputzt und die Deckplatten der Kapitelle aus Sandstein hergestellt.

Dieses entschlossene Bekenntnis zum reinen Ziegelbau findet sich hier wie auch in Italien zur gleichen frühen Zeit. Der Dom zu Modena, den der Baumeister Lanfrank vor 1099 aufführt, zeigt, obgleich er außen ein völliger Werksteinbau ist, innen den Ziegel. Die Säulen sind aber ebenfalls noch aus Haustein hergestellt. Jerichow bedeutet also einen beträchtlichen Schritt weiter zum reinen Ziegelbau. Gespart ist dabei bis aufs äußerste mit dem Backstein der Flächen. Auf drei Läufer folgt höchstens ein Binder. Jedenfalls steht hier in Deutschland der erste Backsteinbau, welcher außen wie innen völlig aus Ziegeln hergestellt ist und dieselben auch zeigt. Kein zweites Land kann der Mark Brandenburg diesen Ruhm streitig machen.

Nun zu Italien, dem Wettbewerber um den Ruhm, der Schöpfer der romanischen Ziegelbaukunst zu sein.

Italien.

In Oberitalien und zwar in dem Hauptorte des westlichen Ziegelgebietes, in Mailand, steht die Kirche des heiligen Ambrosius als Hauptvertreterin des Backsteinbaues da. Gelingt es deren Alter festzulegen, dann ist über den Altersvorrang der lombardischen Backsteinkunst vor der märkischen eher Sicherheit zu erlangen. — Im Westen besitzt St. Ambrosius zwei quadratische Türme, von denen der eine südliche höchst altertümlich und roh aussieht, der nördliche dagegen reich und entwickelt ist (Abb. 11 u. 12). Während der ältere Turm etwas abseits von der Kirche steht, greift der neue Turm in die Kirchenmauer ein. Man sieht bald im Grundriß wie im Aufriß, daß dies nur möglich war, wenn der neue Turm schon fertig dastand, als das Kirchenschiff dagegengebaut wurde. Hätte man in die bestehende Kirche den Nordturm derart hineinschneiden wollen, dann wären die westlichen Gewölbe in das für ihn nötige Loch gestürzt. Die Kirche ist also nach dem Turm entstanden. Der Turm war jedoch 1144 erst gegen 12 Ellen hoch. „cubitos circiter duodenos.“ So lautet eine Zeugenaussage in einem Rechtsstreite von 1181[32]). Damit fällt die so frühe Entstehung des Schiffes von St. Ambrosius dahin. Man hatte aus seinen frühen Rippengewölben einen ganzen lombardischen Baustil hergeleitet, welcher der Gotik diese Gewölbe erst gelehrt habe. Damit ist es nichts. Die Mailänder Kirche ist nicht älter als St. Denis bei Paris, das 1140 und 1144 geweiht worden ist und immer noch als erster, urkundlich sichergestellter gotischer Bau gelten kann, wenn er auch nur als eine Verarbeitung der normännischen Erfindungen in England und der Normandie zu betrachten ist.[33]) Erzbischof Obert (1193 bis 1196) hat den Neubau von St. Ambrosius begonnen und sein Nachfolger ihn vollendet. Nur der Chor und die Innenwand der Westansicht sind vom alten Bau erhalten geblieben. Deren Backsteineinzelheiten sehen daher urtümlicher aus als unsere märkischen. Sonst sind aber die Bauten zu Jerichow, Segeberg, Brandenburg, früher als St. Ambrosius oder ihm gleichzeitig. Geradeso verhält es sich mit dem hohen Alter der Kirche St. Peter mit dem goldenen Himmel zu Pavia. Sie ist ein getreues Abbild von St. Ambrosius zu Mailand und daher auch erst zu dessen Zeit entstanden.

Ähneln die Ziegelbauten der Lombardei, den Augsburgischen, wie den Märkischen, und können wir diese lombardischen Bauten als durch die Deutschen beeinflußt erachten, so sehen wir uns im Venezianischen einer ganz anderen Formbildung gegenüber. Wir können in der Ziegelkunst Venedigs und seiner Nachbarinseln wohl die Fortsetzung der Kunst Ravennas erblicken. Künstlerische Einzelheiten besaß der altchristliche Backsteinbau allerdings, wie wir sahen, nur wenige. Vererben konnte er daher nicht viel. Aber das

31) Adler, Der Ursprung des Backsteinbaues in den baltischen Ländern. In: Festschrift der Techn. Hochschule. 1884, S. 210.

32) Puricelli, Ambrosianae Mediolani Basilicae Monumenta. Mailand 1645, S. 1068.

33) Blätter für Architektur und Kunsthandwerk. Berlin 1917. [Hasak, Wie ist der Spitzbogen der Gotik entstanden?].

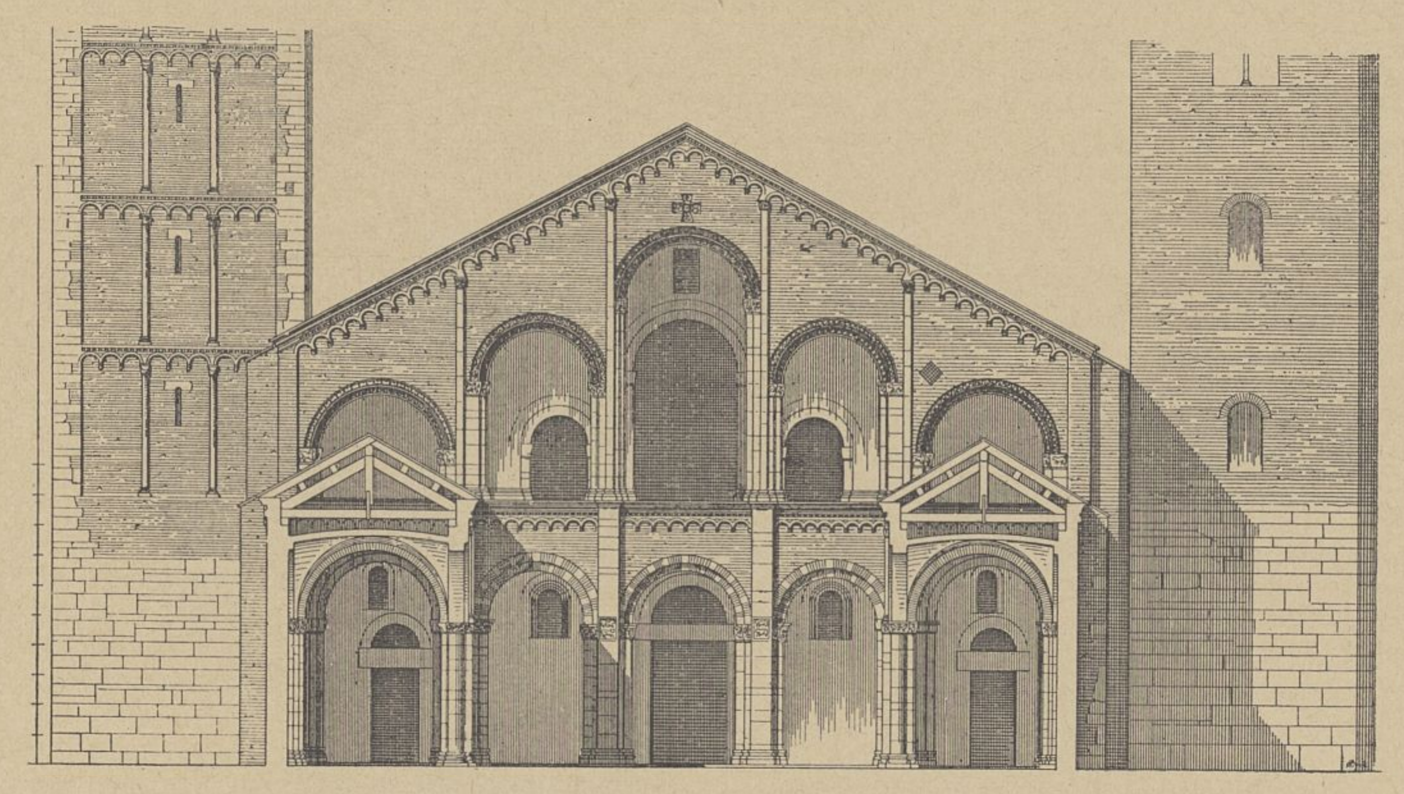


Abb. 11. St. Ambrosius in Mailand. Westansicht.
Aus Dehio und v. Bezold, Die kirchliche Baukunst des Abendlandes.

Bauen in Ziegeln starb dort an der venezianischen Küste nicht aus. So wird es sich seine neuen Einzelheiten selbst geschaffen haben.

Das größte Prunkstück auf den Inseln zu romanischer Zeit ist die Choransicht von St. Donatus zu Murano, wohl 1140 laut Inschrift im Fußboden fertig. Die Kirche des heiligen Markus zu Venedig ist älter und wird das Vorbild für die reichen Einzelheiten gewesen sein, aber die Ziegelkunst der Markuskirche ist hinter der nachträglichen Marmorverkleidung verschwunden und kommt nur bei Wiederherstellungsarbeiten manchmal stückweise zum Vorschein. Wir sehen hier in Murano an dem Chor der Kirche St. Maria und St. Donatus allen erdenklichen Prunk romanischer Backsteinkunst entfaltet.

Im Erdgeschoß sind ringsum halbkreisförmige Nischen hergestellt, die reich mit Rundstäben und Hohlkehlen umrahmt und durch je zwei Säulchen geschieden sind. Diese Rundstäbe und Hohlkehlen sind nun durchaus westlicher Herkunft und in der byzantinischen Kunst völlig unbekannt. In Deutschland zeigt Laach in Haustein ein solch reiches Eingangstor in derselben Zeit, 1156, und in Backstein die Kirchen zu Arendsee und Diesdorf. — Über diesem Erdgeschoß sind zwei Reihen Dreiecke angeordnet, welche im Westen unbekannt sind, aber sie finden sich ebenfalls an der St. Markuskirche zu Venedig, wie an Sta. Sofia zu Padua. Auch auf der Nachbarinsel Torcello ist der Chor von Sta. Fosca damit bekrönt und der runde Turm des Domes in Caorle, einer anderen Nachbarinsel, zeigt diesen Dreiecksfries ebenfalls. Er ist also gut venezianisch. Auch in der islamischen Kunst Nordafrikas werden wir ihn finden, die völlig von der italienischen Kunst abhängig ist. Wir kommen noch darauf. Auch die offene Umgangshalle im ersten Stock von St. Donatus stammt nicht aus Byzanz, sie ist dagegen als Zwerggalerie ein besonders in der Lombardei und in Pisa über alles bevorzugter Bauteil, der an den Domen zu Pisa und Lucca das Ansteigen unter den Giebelschenkeln ebenfalls aufweist.

Wir finden also hier im Venezianischen zu romanischer Zeit eine blühende eingeborene Backsteinkunst, die sich durch die Jahrhunderte vorher entwickelt hat. Wenn wir den trotzigen Umriß des Turmes von St. Donatus uns noch einprägen mit seiner derben Lisenenteilung und dem niedrigen zurückgesetzten Obergeschoß, dann haben wir ein Bild jener Backsteinbaukunst, die auch den Markusturm in Venedig geschaffen hat, die zusammen mit den gleichgestalteten Normannentürmen in Sizilien, wie in Cefalù, die Vorbilder für die spanischen und afrikanischen Minarete der Islam-

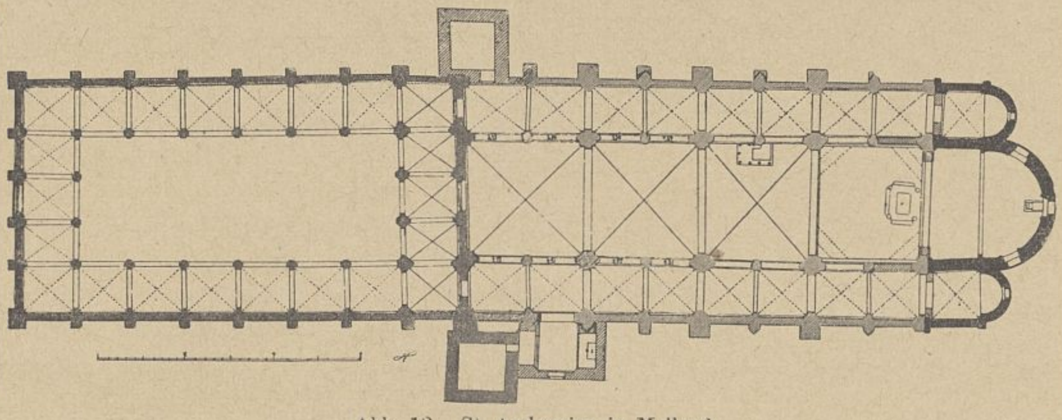


Abb. 12. St. Ambrosius in Mailand.
Aus Dehio und v. Bezold, Die kirchliche Baukunst des Abendlandes.

bekenner abgegeben haben. In Byzanz und Saloniki finden wir überhaupt keine Türme, die Türme sind also ein laut sprechender Beweis dafür, daß sie im Venezianischen eingeborene Kunst darstellen.

Auch der mächtige Turm der benachbarten Benediktinerabtei von Pomposa erhebt augenfälligen Einspruch dagegen, daß er byzantinischer Schulung entsprossen sei. Türme kannte man, wie gesagt, in Byzanz gar nicht, seine Einzelformen ebenfalls nicht. Und der Name seines Baumeisters ist keinenfalls byzantinisch, sondern richtig venezianisch, den eine Inschriftstafel angibt:

„Ego Mazulo magister, qui feci haec opera vos omnes deprecor ut oretis pro me ad Dominum et dicatis misertus sit tibi omnipotens Dominus."

[Ich Mazulo Meister, der ich diesen Bau geschaffen habe, bitte euch alle, daß ihr für mich bei dem Herrn bittet und sagt: Der allmächtige Herr möge sich deiner erbarmt haben.]

Daß Mazulo ein eingeborener Name zur Langobardenzeit ist, zeigt folgende Beurkundung von 730:

„Pinculu et Macciulu fratres vendunt Mauricciuni canovario regis agrum in loca Arena pretio sol. 6 et tremissis. Regn. Liutprand.." (Muratori, Antiquitates III. 1005.)

Selbst wenn eine andere Lesart, etwa Ermanzulo, richtig sein sollte, dann wäre dies immer noch eher ein deutscher Langobardenname als ein griechischer, insbesondere da auch die anderen Künstlernamen damals Deutsche sind. So der des Goldschmiedes Vuolvin, welcher in St. Ambrosius zu Mailand die Altarummantelung 835 n. Chr. geschaffen hat[34]) und die zahlreichen anderen Goldschmiede der Urkunden: Cuntefred, Arifus, Arioald, Lobo, Bodo. Daß der Italiener und Deutschenfresser Cattaneo den Vuolvin zu einem Byzantiner zu stempeln sich bemüht, ist erklärlich und zeugt von seiner geringen Belesenheit und unzureichenden Sprachkenntnis. Daß ihm aber die selbstbewußten Deutschen gelehrig nachfolgen und den Meister Mazulo den Byzantinern ausliefern, dazu gehört besondere Veranlagung. Die kunstgeschichtlichen wie die sprachlichen Tatsachen sind dagegen.

Jedenfalls bildet die Kirche des heiligen Donatus auf Murano das hohe Lied romanischer Backsteinkunst. Doch sind ihre Backsteine gerade so roh hergestellt wie die der Lombardei. Oberitalien ist ein reiches Land. Die romanische Ziegelbaukunst konnte daher dort eine ganz andere Entwicklung nehmen als in der eben erst dem Christentum und der Kultur erschlossenen Mark Brandenburg und dem von der Natur nicht allzusehr begabten Augsburger Lande. Die Bauten sind daher in Oberitalien so zahlreich, daß für eine Zusammenstellung derselben hier der Raum fehlt. Daher sei nur noch die weltliche Baukunst gestreift. Gerade die romanische Backsteinkunst hat uns einige sehr reizvolle Leistungen hinterlassen. So ein Wohnhaus in Ravenna, der Palazzo del Podesta zu Padua, der Palast der Skaliger zu Verona usw.

Hier in Italien sehen wir zu romanischer Zeit in jenen Gegenden wo Backstein und Haustein um die Herrschaft kämpfen, die höchst malerisch wirkende Verwendung abwechselnder Schichten Werkstein mit einigen Lagen Backsteinen schon frühzeitig im Gebrauch. So am Dom zu Verona. — Zur Zeit der deutschen Renaissance finden wir diese Abwechslung zwischen Backstein und Haustein an den deutschen Seeküsten von Dünkirchen bis Danzig in reizvollster Weise ausgebildet. Wir kommen noch darauf.

34) Hasak, Die romanische und die gotische Baukunst. Stuttgart 1903, Bd. 2, S. 332.

Dänemark und Schweden.

Auch in Dänemark und in Schweden gibt es romanische Backsteinkirchen. Diejenigen Deutschen, die den Deutschen gar nichts zutrauen und daher überallhin Umschau hielten, wo der Backsteinbau der nordostdeutschen Tiefebene wohl herstamme, waren auch geneigt, in dem kleinen Randlande Dänemark die Mutter des deutschen Backsteinbaues zu erblicken. Da war der dänische König Waldemar, † 1182 zu Ringsted, in einem Ziegelgrabe beigesetzt und folgende Inschrift auf einer Bleiplatte hatte sich in diesem Grabe vorgefunden:

„Hier liegt der Dänenkönig Waldemar I., der Sohn des hl. Kanut, der mächtige Bezwinger der Slawen, der auserlesene Befreier des unterdrückten Vaterlandes, der Wiederhersteller und Bewahrer des Friedens. Dieser unterwarf mit Glück die Rügener und bekehrte sie als erster zum Christenglauben, nachdem die Götzenbilder zerstört waren, auch erbaute er als erster die Mauer zum Schutze des ganzen Reiches aus gebrannten Ziegeln, welche gewöhnlich Danewerch heißt . . ."

Hieraus wollte man herleiten, daß er zuerst gebrannte Ziegeln hergestellt habe. Das ist aber irrig. Es heißt nur, daß er die Mauer, die bis dahin in Holz war, als erster in Ziegeln aufgeführt hat, denn er hat sie nicht vollendet. Swend Aagesen berichtet damals:

„Dieser hat vieles des Gedächtnisses Würdiges getan, aber wie durch den dreifachen Glanz der Sterne glänzt sein Andenken. Denn zuerst zwang er die unbezwungenen Rügener machtvoll durch die Welle der hl. Taufe wieder geboren zu werden. Darauf erbaute er zuerst auf der Insel Sprowa den Turm aus gebrannten Ziegeln. Zuletzt führt er im Tal Danewerchk die Backsteinmauer auf, welche er jedoch durch den Tod verhindert unvollendet zurückließ."

Waldemar hat 20 Jahre geherrscht. Diese Ziegelbauten waren also zwischen 1162 und 1182 entstanden. Daher sind die märkischen und lübischen Bauten viel älter. Man wird also mit Recht annehmen dürfen, daß der dänische und schwedische Backsteinbau aus Deutschland stammt.

Romanische Backsteinbauten Dänemarks sind: Soroe, Kallundbork und Vordingbork auf Seeland, Assens auf Fünen, Aarhuus, Tohrsager, Breklum, Westerwig, Lügumkloster in Jütland. In Schweden: Gumlöse in Schonen, 1191 geweiht[35]). Hierzu tritt Bergen auf Rügen, geweiht 1193; das ist aber sicherlich lübische Kunst. Überdies wird ja die deutsche Herkunft des dänischen Ziegelbaues durch die völlig deutsche Haltung der Bauten erwiesen.

Frankreich.

Auch in Frankreich gibt es ein Ziegelgebiet um Toulouse und Albi. In Toulouse ist S. Sernin eine riesige fünfschiffige Anlage. Der Ziegelbau bildet aber nur die Flächen, der Werkstein die Architektur. Nur ab und zu wechselt in den Rundbögen der Backstein mit dem Werkstein ab. Die

35) Zeitschrift für Geschichte der Architektur. Heidelberg 1908/9, S. 171. [Haupt, Die Kirche zu Gumlöse].

oberen Geschosse des riesigen Vierungsturmes zeigen gerade Bogenschenkel über den Öffnungen. Diese Bögen mit geraden Schenkeln werden daselbst, wie wir sehen werden auch noch zu gotischer Zeit beibehalten.

Spanien.

Spanien besitzt in der Mitte wie im Norden, um Toledo, Valladolid und Zaragoza ein ausgedehntes Backsteingebiet, welches zur Zeit der romanischen Kunst hauptsächlich durch maurische Bauten vertreten ist. So in Toledo St. Cristo de la Luz, welches schon stand als Moschee, als Alonso VI. 1085 die Stadt eroberte. Hufeisenbögen und fünfteilige Kleeblattbögen überdecken die Öffnungen. Die Kleeblätter sind in ihren vier unteren Bögen durch wagerechte Backsteinschichten gebildet. Die reichen Rippengewölbe sind aber sicher erst der frühgotischen Zeit zuzuschreiben. Die Mauern sind aus Ziegelschichten abwechselnd mit rohem Stein hergestellt, die oberen Bögen zeigen rote und grüne Ziegeln. Hierher gehört auch in Toledo San Roman, dessen Turm eines der besten Beispiele des spanisch-romanischen Stiles nach der Eroberung darstellt. Ähnlich ist der Turm von Sta. Magdalena in Toledo. Auch hier ist der untere Teil in rohen Bruchsteinen mit Ziegelbändern und Ziegelkanten aufgeführt, während der obere durchbrochne Teil durchweg in Backsteinen hergestellt ist. Diese sind sehr rauh, dünn und mit fast ebenso dicken Fugen gemauert. Am Turme von St. Toma sind die Ziegeln grün und gelb. Hierher gehört auch die frühere Synagoge Sta. Maria la Blanca. Die achteckigen Säulen zwischen den Schiffen mit ihren Kapitellen und Hufeisenbögen sind völlig aus Backsteinen hergestellt, die nun allerdings überstuckt sind. Auch El Transito ist eine frühere Synagoge in maurischem Stil, aber erst 1366 errichtet, also bewußt altertümelnd gebaut. Die Ziegeln sind 27 cm zu 19,4 zu 3,1 groß, die Fugen ebenfalls 3,1 cm stark.

Auch maurische Ziegelhäuser haben sich in Toledo erhalten. Ebenso ist die Stadtmauer und die Brücken in diesem Stil mit teilweisen Ziegeleinzelheiten höchst reizvoll ausgeführt. In Sta. Maria la Blanca hat sich auch ein sehr schöner Fliesenfußboden erhalten, aber wohl aus spätgotischer Zeit.

In Valladolid gibt es ein schönes maurisches Stadttor mit derselben Backsteingröße und Fugenstärke wie an El Transito in Toledo. Es könnte daher ebenfalls erst so spät erbaut worden sein. Ja man kann behaupten, die allermeisten maurischen Bauten Spaniens sind erst unter christlicher Herrschaft entstanden. Und da auch die westgotischen Bauten vor der Eroberung durch die Mauren 711 schon den Hufeisenbogen zeigen, so dürfte von dem Ruhm, den maurischen Stil erfunden zu haben, wenig für die Mauren übrig bleiben. Um so weniger, als die maurische Baukunst Marokkos erst nach den Niederlagen und der teilweisen Vertreibung der Mauren aus Spanien nach Marokko dort dieselben Bauten aufweist. So bildet die Giralda von Sevilla, 1195 entstanden, das Vorbild für alle nordafrikanischen Minarets bis nach Tunis.

Daß der Ziegelbau in Spanien keine Erfindung der Mauren ist, wie man in allen Kunstgeschichten liest, ergibt sich auch daraus, daß der hl. Isidor von Sevilla in seinem Werke „Origines“ das Ziegelstreichen fast mit denselben Worten beschreibt — er lebte unter dem Westgotenkönige Chintila und starb 636 n. Chr. — wie nach ihm der hl. Rabanus Maurus bei uns, die wir schon angeführt haben.

In Zaragoza scheinen die Ziegelmuster des Domes und der kleineren Kirchtürme alle erst gotischer Zeit zu entstammen. Wir kommen noch darauf.

England.

Die Römer haben nördlich von London mit Ziegeln gebaut und aus dem Abbruch alter Römerbauten ist die Kirche St. Botolph in Colchester (Essex) errichtet und die Abteikirche St. Albans. (Abb. in Britton, Architectural Antiquities, Bd. 1 S. 2. London 1835.)

Sonst ist England ein reines Werksteinland, das den Backstein zu seinen Bauten kaum verwendete. —

Mit den romanischen Backsteinbauten Europas war zum erstenmal nach langen Jahrtausenden von Entwicklung eine wirkliche Ziegelbaukunst geschaffen worden.

Diese romanischen Backsteinbauten sind ebenbürtige Schwestern der Werksteinschöpfungen ihrer Zeitgenossen. Sie haben vor jenen jedoch die schöne Farbe im voraus und überdauern mit der Unverwüstlichkeit des gebrannten Tones eine große Zahl der mit den unzuverlässigeren Sandsteinen aufgeführten Werksteinbauten. Die Backsteingegenden unseres Vaterlandes haben also allen Grund auch ihre neuen Gebäude, weltliche wie kirchliche, in diesem ihnen von der Natur als Sondergabe verehrten Baustoff zu errichten. Sie erhalten dadurch eine bodenständige Kunst, und die Kosten der Backsteinbauten sind beträchtlich niedriger als die der Werksteingebäude.

Was aber ganz besonders hoch zu schätzen ist: Sie erhalten durch den Backstein eine eigenartige Kunst, die ihre Künstler hinaushebt über das Nachgehen ausgetretener Bahnen. Die Baumeister sollten nach diesem Lorbeer der Eigenart begierig trachten. Der Erfolg ist ihnen sicher.

Petra.

Von Oskar Reuther.

Die seltsame Felsenstadt der nabatäischen Araber konnte nach den zahlreichen Veröffentlichungen, die sich mit ihren Resten befaßt haben, als eine der bestbekannten Ruinenstätten des vorderen Orients gelten. Petras Gräber sind von den unscheinbarsten bis zu den prachtvollen Felsmausoleen durch Brünnow und v. Domaszewski aufgenommen, boschrieben und registriert, die Kultstätten durch Dalman untersucht und erklärt worden, um die wichtigsten deutschen Arbeiten über Petra zu nennen. Kohl behandelte dann den außer dem großen Theater als einzigen wohlerhaltenen Freibau des

Kasr Fira'ûn in einer ausgezeichneten Monographie. Aber von der Stadt Petra kannte man nicht viel mehr als ihre Lage und die Reste einzelner Bauten, des Peripteraltempels mit einem anschließenden Prachttore, des Nymphäums und anderer, die scheinbar ohne Zusammenhang im Stadtgebiet beiderseits des Mosesbaches lagen. Man konnte erwarten, daß später Kommende die Forschungsergebnisse ihrer Vorgänger in einzelnen Zügen ergänzen und berichtigen würden, daß es ohne Ausgrabungen gelingen könnte, neue Entdeckungen zu machen, war nicht anzunehmen. Dem geschulten Blick Wiegands und seiner Gefährten Bachmann und Watzinger, die Petra im Dezember 1916 erneut untersuchten, ist es geglückt, ein klares Bild von der Anlage der Stadt zu gewinnen. Neben der Stadt der Toten, als die Petra bis vor kurzem galt, ersteht nun die Stadt der Lebenden vor unseren Augen. Das ist das Neue, was das Petraheft des Deutsch-Türkischen Denkmalschutzkommandos[1]) bringt. Daß daneben eine ganze Reihe von Ergänzungen und Berichtigungen früherer Forschungsergebnisse gewonnen wurden, bedarf kaum der Erwähnung.

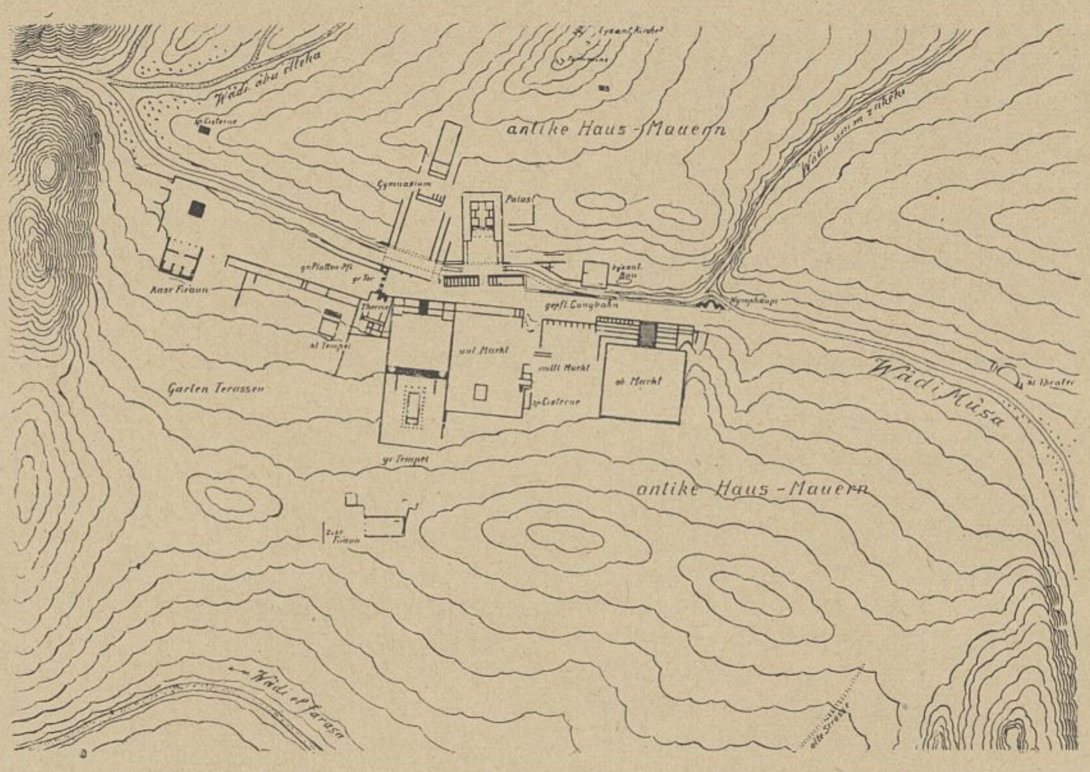


Abb. 1. Übersichtsplan des Stadtgebietes nach den Aufnahmen von 1916/17.

Die für eine bedeutende Handelsstadt sonderbar anmutende Lage Petras in einem engen, schwer zugänglichen Felskessel erklärt sich dadurch, daß die Notwendigkeit der Sicherung wichtiger erschien als die Verkehrsmöglichkeiten und die Möglichkeit der Ausdehnung. Es ist nur eine kilometerlange und kaum halb so breite Mulde, die für eine Bebauung überhaupt in Frage kommen konnte. Sie wird vom Mosesbach durchflossen, der in der engen Schlucht des Wâdi es-Sîk aus den gewaltigen, den Kessel im Osten begrenzenden roten Sandsteinwänden heraustritt, um im Wâdi es-Sîjaṛ wieder in das Felsgebirge einzutreten.

Die Sîk-Schlucht, eine schmale Felsenklamm, bildet den Haupteingang zur Stadt. Die Schluchtstraße war nur dann dauernd begehbar zu gestalten, wenn man die allerdings nur tageweise, dann aber um so mächtiger anstürmenden Winterwasser des Mosesbaches unschädlich machte. Eine unterwölbte Gangbahn der Straße hätte aber viel zu hoch liegen müssen, um bei der Enge der Schlucht das völlige Querschnittsprofil zugewinnen. So sperrte man, wie Bachmann festgestellt hat, den Eingang des Wâdi es-Sîk im Osten mit einer Mauer, leitete den Mosesbach durch einen Felsentunnel nach Norden in ein anderes Tal ab und führte die von Osten kommende Karawanenstraße mit einer Brücke über das nunmehr quergestellte Bachbett und eine anschließende Rampe in die Schlucht hinein.

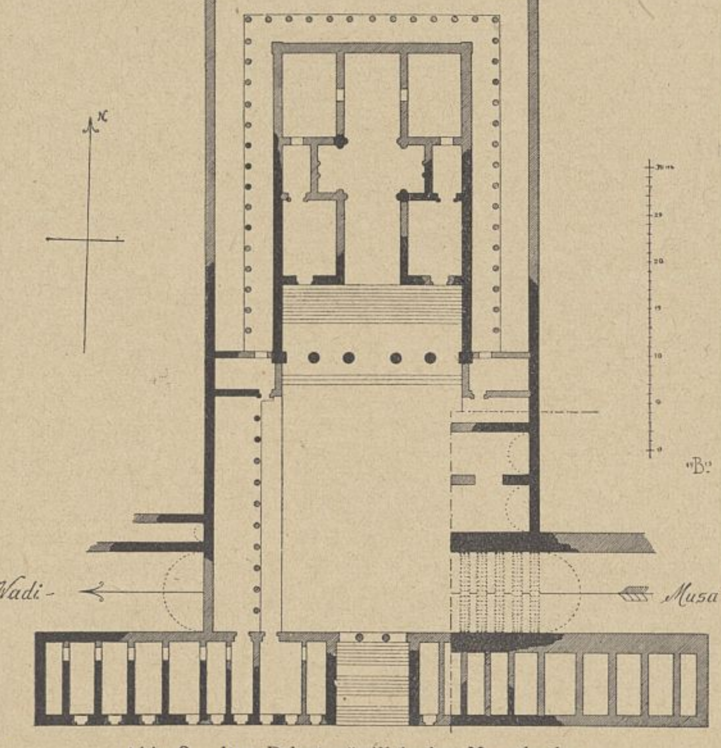


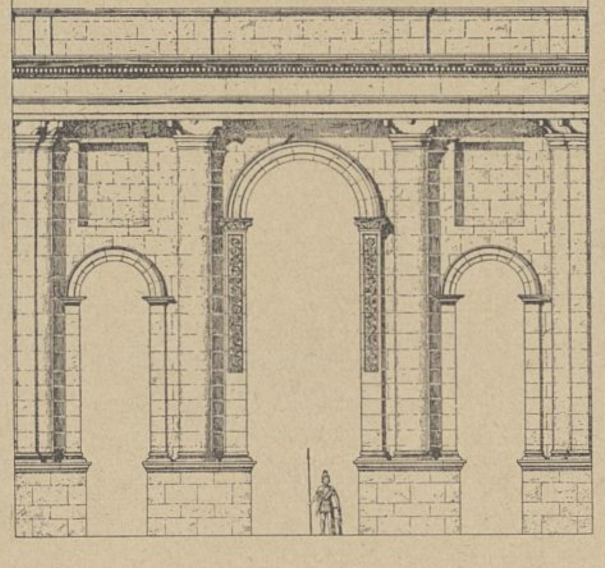
Abb. 2. Der Palast nördlich des Mosesbaches.

Der schmale und selbst für Saumtierverkehr nicht gerade bequeme Schluchtweg setzte sich dann nach seinem Eintritt in die Stadt parallel mit dem Bachbett als Hauptverkehrsader und Prunkstraße fort, zu deren Seiten sich im Norden und Süden an steigenden Hängen die öffentlichen Bauten erhoben. Dahinter stiegen weiter hinauf die Wohnquartiere an. Vom Straßennetz hat sich sonst nicht viel feststellen lassen, sicher ist nur, daß es trotz des gebirgigen Geländes wie in Priene im wesentlichen regelmäßig rechtwinklig angelegt war. Lage, Ausdehnung, Gestalt und Zweckbestimmung — soweit letzteres aus Analogieschlüssen möglich war — der wichtigsten öffent-

1) Wissenschaftl. Veröffentlichungen des Deutsch-Türkischen Denkmalschutzkommandos, Heft 3. Petra von W. Bachmann, C. Watzinger und Th. Wiegand. Mit einem Beitrage von K. Wulzinger. Berlin und Leipzig 1921. Vereinigung wissenschaftlicher Verleger Walter de Gruyter u. Ko.

lichen Bauten haben Wiegand und seine Gefährten aus den Trümmern feststellen können. Das Ergebnis liegt im Stadtplan (Abb. 1) und zahlreichen Einzelaufnahmen vor.

Betrachtet man das wiedergewonnene Planbild Petras, so fallen sofort die vier auf der Südseite der Straße nebeneinanderliegenden rechteckigen Plätze ins Auge. Der westlichste ist der Peribolos des großen Peripteraltempels mit seinem Vorhof. Die drei östlichen erklärt Wiegand als die Märkte der Stadt. Dem ansteigenden Gelände mußte die zur Platzbildung nötige Ebene mühsam abgewonnen werden — vorn an der Straßenseite durch gewölbte Unterbauten, nach dem Berghang hin durch tiefe Einschnitte in den Sandsteinfelsen. Am besten erhalten sind diese Unterbauten am östlichen, dem „oberen" Markt. Sie bilden dort ein System paralleler, mit Tonnen überwölbter Räume, die als Magazine gedient haben werden und die nach der Straße hin durch eine Reihe von Läden begrenzt wurden. Eine über 14 m breite Freitreppe durchschnitt diesen Unterbau in der Mitte und erreichte mit einem Säulenportal die Höhe des Platzes, den sich Wiegand in der gebräuchlichen Weise von Stoen umschlossen denkt. Der nächste, der „mittlere" Markt liegt etwas tiefer und der westliche „untere" wiederum, aber immer noch einige Meter höher als die Straße, war also ebenfalls wohl nur durch eine Treppe von ihr zu erreichen. Man fragt sich, wie der an einem Umschlageplatz wie Petra doch sicher sehr bedeutende Marktverkehr vor sich ging. Mit Kamelen konnte man schwerlich die Treppen hinauf und herunter, mußte also die Warenballen durch Lastträger hinauf bringen lassen und ebenso wieder herunter, wenn sie Petra wieder verließen. Auf der gepflasterten Gangbahn der Straße mag es trotz ihrer Breite von streckenweise über 20 Metern oft ein beängstigendes Gedränge beim Beladen der Karawanentiere gegeben haben.



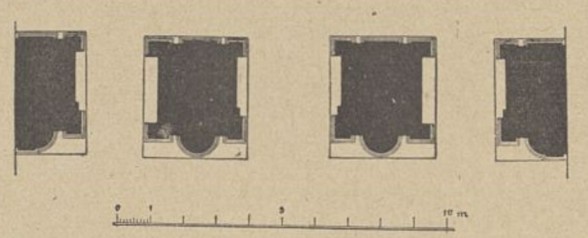


Abb. 3. Das Straßentor. Grundriß und Aufriß.

In gleicher Flucht mit den drei Märkten, Wand an Wand mit dem westlichsten „unteren", liegt der Bezirk des großen Peripteraltempels, der Großartigkeit seiner in den Hauptzügen mit dem Heliopolitanum in Baalbek übereinstimmenden Anlage nach sicher das Hauptheiligtums der Stadt. Wie in Baalbek liegt vor dem Tempel ein großer, von Säulenhallen umschlossener Hof, den man wohl wie dort als Altarhof zu erklären hat. Ein äußerer Vorhof, wie ihn das Heliopolitanum im Hexagon besitzt, fehlt in Petra. Am Tempel selbst, einem korinthischen Peripteros, fällt besonders auf, daß er in der Front vier, an der Rückseite aber sechs Säulen hatte. Er stand seinerseits in einem von Stoen umschlossenen Hof, doch dürften gegen deren von Bachmann in der Grundrißergänzung angenommene große Tiefe Zweifel berechtigt sein. Die Tempelanlage ist nicht orientiert, d. h. sie wird in ihrer Richtung durch die Straße bestimmt und liegt parallel zu den drei Märkten. Um so auffallender ist es, daß der bedeutendste Bau auf der nördlichen Straßenseite, den Wiegand als „Palast" bezeichnet, nicht in der Straßenflucht liegt, sondern mit seinen Vorbauten nach Westen hin stark in die Straße hereingedreht ist und die weiter östlich von parallelen Wänden gefaßte Straße stark einengt. Das nimmt um so mehr Wunder, als um der fast pedantisch durchgeführten Parallelität der übrigen Bauten willen das Felsgelände durch Einarbeitungen und Unterbauten geradezu vergewaltigt erscheint. Man kann sich demnach schwer vorstellen, daß der Architekt den „Palast" wegen der besonderen Gestalt der Felszunge, auf der er steht, aus der allgemeinen Richtung herausgedreht hat noch dazu in einem dem unmittelbar im Westen folgenden Knick der Straße entgegengesetzen Sinne. Man möchte deshalb fast glauben, daß sakrale Gründe die besondere, der wahren Nordsüdrichtung stark angenäherte Orientierung veranlaßt haben, daß der „Palast" also eher ein Kultbau als ein Wohn- oder Repräsentationsbau gewesen sein dürfte. Dem steht wieder die höchst merkwürdige Plangestaltung (Abb. 2) entgegen. Auf den ersten Blick glaubt man eine Verwandtschaft mit dem früher von Kohl untersuchten und veröffentlichten Kasr Fira'ûn zu erkennen, über dessen profane oder sakrale Bedeutung sich nichts Bestimmtes sagen läßt, obwohl Wiegand für die letztere eintritt. Gemeinsam mit dem Kasr Fira'ûn hat der „Palast" auch die umlaufenden niedrigen Säulenhallen, die Kohl dort nicht bemerkte und deren ursprüngliches Vorhandensein Wiegand und seine Mitarbeiter nachgewiesen haben. Die erhaltenen Reste des Palastes führen aber auf eine vom Kasr Fira'ûn stark abweichende Grundrißbildung ganz eigener Art. Das Wesentlichste daran ist eine kreuzförmige Halle, die das Planrechteck durchsetzt und aus ihm vier Eckräume ausschneidet, mit dem südlichen Kreuzarm sich aber in voller Breite nach Art eines „Liwan" auf die Fronttreppe, die viersäulige Vorhalle und weiterhin den vorgelagerten Säulenhof öffnet. Analogien aus dem späteren islamischen Palast- und Wohnhausbau führt Wiegand an. Die Beispiele aus moderner Zeit ließen sich noch beliebig vermehren. Mir selbst sind noch Wohnhäuser dieses Plantypus aus Eskischehir, Konia und Der es-Sor bekannt, weiter aus Indien, wo das kreuzdurchsetzte Grundrißschema eine besondere Rolle spielt und durchaus nicht etwa an den Kuppelbau geknüpft ist. Die Zähigkeit, mit der sich der kreuzförmige Mittelraum gerade im Wohnbau in einem weiten Verbreitungsgebiet bis heute erhalten hat, macht es trotz der durch die Orientierung nahegelegten Zweifel doch wahrscheinlich, daß es sich bei dem Peträer Bau um einen Palast handelt.

An den Palast und seinen den Mosesbach überbrückenden Vorbau schließt sich nach Westen eine Gebäudegruppe an, in der Wiegand die Gymnasien erkennt, im wesentlichen geleitet durch ein bereits von Dalman und v. Domaszewski bekannt gemachtes Relief. Es stellt einen Eros dar, der zwei geflügelte Löwen mit Siegerbinden gefesselt hält. Die Anlage steigt wie beim Gymnasium des Burgberges von Pergamon in drei Terrassen am Hang hinauf und überbrückt in der untersten, einem großen Säulenhof, mit einer Gurtbogenwölbung den Mosesbach. Von den großen, zur Überwindung des insgesamt 15 Meter betragenden Höhenunterschiedes zwischen den Terrassen vorauszusetzenden Treppenanlagen ist nichts sichtbar geblieben.

Die Straße wird zwischen dem Gymnasium und den westlich an den Bezirk des Peripteraltempels anstoßenden Thermen durch das bekannte Prachttor abgeschlossen. Die unzureichenden Aufnahmen bei Brünnow und v. Domaszewski werden durch genaue Grundriß- und Aufrißzeichnungen Bachmanns vervollständigt. Bei der Darstellung des Aufbaues (Abb. 3) vermißt man eine Scheidung der noch stehenden und der ergänzten Teile. Die seltsam hohen und schmalen Öffnungen der drei Durchgänge sind indessen gesichert. In den Einzelheiten finden sich feine, gut hellenistische Formen neben nabatäischen Bossenkapitellen wie an den hellenisierenden peträischen Grabfassaden. Das Straßentor von Petra gehört mit dem Ḥasne-Grab, dem Palast, dem Kasr Firaʿûn, den Gymnasien und dem großen Peripteraltempel jedenfalls in die gleiche Epoche, wohl die letzte Zeit der Dynasten von Petra, sicher aber in die vortrajanische Zeit. Die Kapitelle der die mittlere Durchgangsarchivolte tragenden Pilaster (Abb. 6) kehren am Obergeschoß des Hasne-Grabes wieder und mögen neben den feinen Gebälkkapitellen der die Seitendurchgänge flankierenden Pilaster (Abb. 4) und dem Kranzgesims des Torbaues (Abb. 5) als Beispiele für die Formgebung dienen.

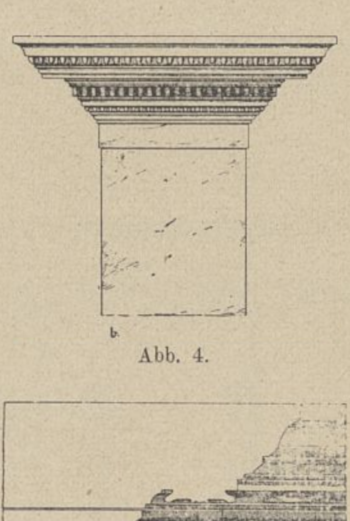


Abb. 4.

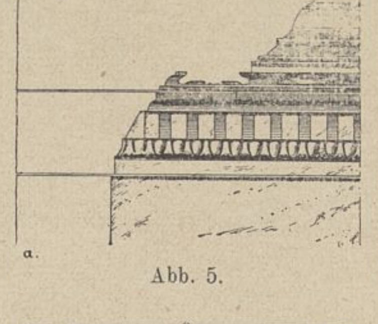


Abb. 5.

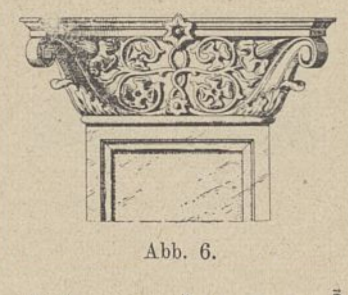


Abb. 6.

Abb. 4 bis 6. Einzelformen des Straßentores.

Das Straßentor schloß die Innerstadt mit den bedeutenden, dem Handelsverkehr, dem Kult und der Verwaltung gewidmeten Bauten nach Westen ab und bildete so den monumentalen Zugang der Basarstraße. Es wendet seine Hauptschauseite daher nach Westen — dem von draußen Kommenden entgegen. Die Straße führt außerhalb des Tores nach einem durch den Verlauf des Bachbettes bestimmten Knick auf das Kasr Firaʿûn zu. Von Bauten ist außer diesem und seinem großen Säulenvorhof mit vermutlich drei Exedren und einem wohl später hineingebauten Wasserbassin nicht mehr viel erkennbar geblieben als die Reste von Terrassenmauern und die Ruine eines kleinen prostylen Tempels, der sich auf einer an den Thermenbezirk anstoßenden Terrasse erhob. Ob noch andere bedeutende Gebäude hier außerhalb des Tores gestanden haben, muß zweifelhaft bleiben. Der Schwerpunkt der Stadt lag jedenfalls im östlichen Zug der Straße, die in gerader Richtung zwischen dem Prachttor im Westen und zwei am Ostende des „oberen" Marktes einander gegenüberliegenden Nymphäen verlief. Ob man sich die Straße wie die Hauptstraßen von Palmyra, Gerasa, Philadelphia-Ammân und des antiken Damaskus mit Säulenhallen vorzustellen hat, möchte Wiegand ihrer verhältnißmäßig geringen Breite wegen bezweifeln. Irgendwelche Spuren von Straßenhallen sind jedenfalls nicht sichtbar geblieben und die unregelmäßige Führung der Straßenflucht auf der Nordseite am „Palast" macht hier zum mindesten deren einstiges Vorhandensein höchst unwahrscheinlich. Die Straßenseiten wurden also im unteren Teil durch die geschlossenen oder in Läden aufgelösten Terrassenwandungen der Bauten gebildet, zwischen denen die breiten Freitreppen zu den Höfen der Märkte, des Tempels und des Palastes aufstiegen. Die Straßenfront des Gymnasiums war durch eckige Nischen mit rahmenden Halbsäulen gegliedert und eine ähnliche Gliederung wird man wohl allgemein annehmen dürfen. Daß die Straße auch statuarischen Schmuck besaß, ist durch Statuenbasen vor der Gymnasiumfront bezeugt. Für die Abschlüsse der Terrassenhöfe nach der Straße hin mag man sich dekorative Säulenstellungen vorstellen. Sicher aber ist es irrig, aus den mehrstöckigen Grabfassaden Petras, der Ḥasne beispielsweise, auf den Aufbau der Gebäudefronten zu schließen, eine Meinung, die nach dem Vorgang von Brünnow und v. Domaszewski, Studniczka und Ippel ziemlich allgemein verbreitet ist. Daß diese Grabfassaden nicht Abbilder wirklich existierender Gebäudefronten sind, daß das Übereinander vielmehr als ein Hintereinander aufzufassen ist, war bereits Kohls Ansicht, deren Richtigkeit Wulzinger in einem besonderen Kapitel überzeugend nachweist. Das Bild der Hauptstraße Petras verliert aber, auch wenn man auf die phantastischen Fassadenarchitekturen verzichten muß, nichts von seiner eindrucksvollen Eigenart, denkt man sich die beiderseits als Abschlüsse im Hintergrund gewaltig aufragenden Felswände und weiter die seltsam bunten Farben des Sandsteines, aus dem die Bauten Petras bestanden — helles Gelb, Ziegelrot, Purpur und Violett —, im gleißenden Licht der arabischen Sonne.

Die beiden Theater sprachen im Stadtbild wenig mit, am ehesten noch das kleinere, das in gerader Fortsetzung der Straße nach Osten nördlich des Mosesbaches liegt und von allen früheren Erforschern Petras bisher übersehen wurde. Es ist nach Wiegands Ansicht älter als das bekannte große Theater, das in seiner abgeschlossenen Lage, von prallen Felswänden umgeben, ganz außer Zusammenhang mit dem Stadtgefüge steht. Daß dieses in der Tat spätkaiserzeitlich ist und nicht, wie v. Domaszewski will, der Zeit des Aretas III. angehört, ist durch die von Wiegand und seinen Mitarbeitern festgestellte Art des Skenengebäudes bewiesen, die mit der anderer Theater der späten Kaiserzeit, wie Bosra und Orange, eng verwandt ist.

Von den zahlreichen Felsengräbern Petras wurde außer dem berühmtesten, dem Hasne-Grab, vor allem der großen Grabanlage im Wâdi el Farasa eine erneute Untersuchung zuteil. Sie führte zu überraschenden Ergebnissen und rückt die sepulkrale Felsarchitektur Petras in eine neue Beleuchtung, da man annehmen muß, daß die zahlreichen, dem Totenkult gewidmeten Nebenanlagen auch bei den übrigen großen Gräbern genau so oder ähnlich vorhanden gewesen sein müssen.

Der große Grabbezirk wird durch eine die Schlucht sperrende Mauer mit einem vorgelagerten Treppenaufgang und einer Wächterkammer abgeschlossen. Hinter der Sperrmauer lag ein zwingerartiger Vorhof mit seitlichen Räumen, dann ein großer, auf der erweiterten Schluchtsohle angelegter Säulenhof, auf dessen Westseite sich über einer Freitreppe die aus dem Felsen geschnittene 14 Meter hohe Front des eigentlichen Mausoleums als eingeschossige Säulenfassade mit Giebel und Attika erhebt. Der Gruft gegenüber liegt, gleichfalls in den Felsen eingetieft, hinter der umlaufenden Stoa ein quadratischer Saal von 11 Meter im Geviert, wahrscheinlich das Triklinium für die Totenmahle mit einer eigenartigen, noch rein hellenistischen Wandarchitektur aus Halbsäulen und hochgelegenen, fensterartig gerahmten Nischen. Nach Süden setzt sich der Grabbezirk weiter fort. Über eine Freitreppe gelangt man zu einer zweiten Terrasse, auf der sich ein aus dem Felsen gearbeitetes „Haus“ mit zweisäuliger Front erhebt, höher hinauf endlich zu einer dritten mit einer großen Zisterne und einem gleichfalls in den gewachsenen Fels eingetieften liwanartigen „Gartenhaus“. Gartenanlagen gehörten nach einer Inschrift über einer anderen Grabfassade zu den vornehmen Gräbern Petras — Gärten, ein „Gelagegarten“, Brunnen und eine „Grotte“ werden darin außer den Bestattungsräumen genannt. Auf Grund der Architekturformen glaubt Wiegand den Grabpalast im Wadi-el-Farasa zu den frühesten hellenisch beeinflußten Bauten Petras und noch ins erste vorchristliche Jahrhundert weisen zu müssen. Sicher ist er eine hervorragende baukünstlerische Leistung sowohl wegen der Geschlossenheit der Anlage als wegen des sicheren Gefühls, mit dem hier das Kunstwerk in die Natur hineingearbeitet worden ist, ein Beweis mehr, wie die Baumeister Petras den Reiz ihrer heroischen Berglandschaft empfanden. Gerade diese Seite von Petras Felsenarchitektur, die aus den älteren, meist unvollständig gebliebenen Aufnahmen der peträischen Gräber nicht immer in vollem Umfange erkennbar ist, wird uns durch Bachmanns überzeugende Rückbildung besonders nahe gebracht. Die Peträer Architekten hatten Gedanken, wie sie in den ausschweifenden Architekturutopien Tauts und anderer unserer Modernsten aufgetaucht sind — als Utopien, bei denen niemand an die Möglichkeit ihrer Verwirklichung denkt. In Petra sind sie Wirklichkeit geworden.

Die Erschließung neuer Landgebiete in den amerikanischen Weststaaten durch Bewässerung.

Von Bruno Simmersbach, Hütteningenieur in Wiesbaden.

1. Bodenbildung und Klima.

Die Bodenbildung der Vereinigten Staaten ist in erster Linie von dem durchgreifenden Gegensatze beherrscht, der zwischen der Ost- und Westhälfte des nordamerikanischen Erdteils besteht. Zwar sind die beiden Landeshälften in der Gegend des 95. westlichen Längengrades auf das engste miteinander verwachsen und durch keine scharfe Naturgrenze voneinander geschieden; in ihrer geologischen Entwicklungsgeschichte und ihrem inneren und äußeren Baue sowie in ihrem Klima, in dem Charakter ihrer fließenden Gewässer und in ihrer gesamten kultur- und wirtschaftsgeographischen Ausstattung weichen sie aber sehr stark voneinander ab. Die Osthälfte ist in der Hauptsache ein altes stark abgetragenes Faltengebirgsland, das zum kleineren Teile, in den höchsten Ketten und im Südosten aus kristallinischen Felsarten: Gneis, Granit, Glimmerschiefer, Hornblendegesteinen, zum größeren aber aus Kalkstein, Sandstein und Konglomeraten besteht, und dessen Grundbau bereits am Ende der paläozoischen Zeit vollendet war.

Die Westhälfte der Vereinigten Staaten umfaßt den Hauptteil des nordamerikanischen Felsengebirges. Vor allem aber handelt es sich im Westen um ungeheure Tafellandflächen, die von 300 bis 400 m in der Gegend des 95. westlichen Längengrades bis zu 2000 und 2500 m Höhe in Colorado, Nevada, Arizona aufsteigen, über welche hinaus sich dann die Hochgebirgsketten bis an 4400 m hoch emporwölben. Die weiten gleichförmigen Tafellandflächen, die sich östlich vom Felsengebirge ausdehnen, bei Denver in Colorado 1800, bei Kansas City nur noch 300 m über dem Meere liegen, heißen von dem sie bedeckenden Pflanzenwuchs Prärietafeln, während bei den Flächen zwischen Felsengebirge und Großem Ozean dem Aufbaue und den Bewässerungsverhältnissen nach das Colorado-Tafelland, das abflußlose Great Basin und das Snake River-Tal zu unterscheiden sind; tiefe Niederungstäler sind nur in Kalifornien und in Oregon in die Gebirgsketten eingesenkt. Was den Westen vor allen Dingen auszeichnet, ist die große Jugend seiner geologischen Bildungsgeschichte, alles stammt hier im wesentlichen erst aus der Tertiärzeit, sowohl in bezug auf die Gebirgsfaltung und das gesamte Bodenrelief, wie auch hinsichtlich der Ablagerungen.

Daß die mittlere Jahrestemperatur im Unionsgebiet, auf die gleiche geographische Breite bezogen, erheblich niedriger als in Europa, aber etwas höher als in Asien ist, hat nur geringe praktische Bedeutung. Volkswirtschaftlich viel bedeutsamer ist die hohe Sommerwärme des Landes. Die Niederschläge sind im Westen sehr gering. Am Ostrande der Prärietafel hat Kansas City noch 936 mm Regen jährlich; die Menge sinkt stetig, je weiter man nach Westen vordringt. Phönix in Arizona hat nur noch 198 mm, Yunca 78 und Vulcans Springs in Kalifornien nur 43 mm Jahresniederschläge. Bei den zuletzt genannten Orten fällt in manchen Jahren überhaupt kein Regen, und es herrscht daselbst

natürlich streng ausgeprägte Wüstennatur. Auch einzelne Küstengebiete am Stillen Ozean, besonders Südkalifornien, sind ebenfalls sehr regenarm. In einem sehr hohen Maße zeigt sich auch die Pflanzendecke des Landes von den Gegensätzen beherrscht, die das Klima bietet. Der ganze Osten der Vereinigten Staaten war unter dem Einfluß günstiger Regenmengen und starker Sonnenbestrahlung ein einziges ungeheures Waldland. Westlich vom Mississippi war das Land durch die spärlichen Regen und die ausgeprägte Sommer- und Herbsttrockenheit in Verbindung mit dem in hohem Grade durchlässigen Löß- und Sandboden von Natur aus ein Steppengebiet, das von den französischen Ansiedlern Prärie benannt wurde. Abb. 1 zeigt die Klimazonen der Vereinigten Staaten.

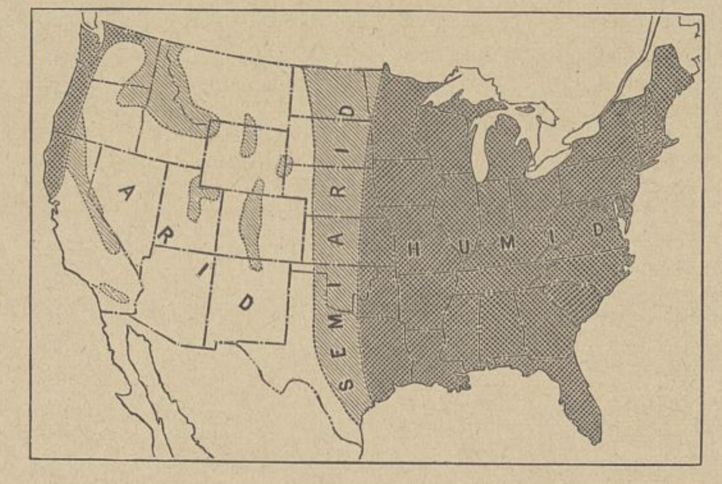


Abb. 1. Klimazonen der Vereinigten Staaten.

2. Das Vordringen der Siedler nach dem Westen und die Anfänge und Verfahren der Bewässerung.

Die Zunahme der im Lande politisch und wirtschaftlich herrschenden weißen Bevölkerung ging beispiellos schnell vor sich; bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts bedurfte es wenig mehr als zweier Jahrzehnte, um ihre Zahl zu verdoppeln, und wenn sich auch seit 1850 die verhältnismäßige Zunahme etwas verlangsamt hat, so waren doch auch in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts bei weitem noch keine 30 Jahre nötig, um eine Verdoppelung der Zahl der Weißen zu bewirken. Diese stark anschwellende Bevölkerungsziffer bedingte denn schon sehr bald ein immer weiteres Vordringen vom zunächst besiedelten fruchtbaren Osten nach dem trockenen Westen der Vereinigten Staaten, wo man sich gezwungen sah, schließlich Gebiete in Kultur zu nehmen, die bisher als wenig oder gänzlich ungeeignet zur Kultur vom Strom der Volkswelle unberührt geblieben waren. Schon während der letzten zwei Jahrzehnte des abgelaufenen Jahrhunderts wurden sowohl die bergbaulichen als auch die landwirtschaftlichen Hilfsquellen des amerikanischen Westens, besonders auch das Gebiet des Felsengebirges, mit immer wirksameren Hilfsmitteln, vor allem mit größeren Betriebskapitalien und besseren Zugangs- und Abfuhrstraßen in Angriff genommen. Es bildeten sich damals schon private Gesellschaften zur Anlage von Staudämmen und Bewässerungskanälen, und die Unionsregierung schuf nicht bloß besondere Institute zur genaueren Prüfung der vorhandenen Erz- ebenso wie der Wasservorräte, sondern sie griff unter dem Drängen der Bevölkerung der Weststaaten auch bei Staubeckenanlagen tätig ein. Mit dem Bergbau entwickelten sich die verschiedenen Zweige der Landwirtschaft, besonders als man gelernt hatte, durch Anlage von Bewässerungskanälen, durch Staubecken und durch weit über das Land hin verteilte artesische Brunnen ausgedehnte neue Flächen von reichlicher Ertragsfähigkeit zu gewinnen, während durch den Ausbau des Eisenbahnnetzes für leichtere Transportmöglichkeiten gesorgt und die Verbindung mit den Absatzmärkten geschaffen wurde.

Die Verschiedenartigkeit der früher allgemein üblichen Bewässerungsverfahren auf den Farmen der westlichen Staaten des Unionsgebietes ist zum großen Teile eine Folge der verschiedenartigen Herkunft und Schulung der Farmer. So waren nach einer Zählung vom Jahre 1905 unter den damals 12000 Landwirten des westlichen Amerika, die Bewässerungsanlagen besitzen, fast alle Volksklassen und Nationalitäten vertreten. Jeder Ansiedler aus einem anderen Bundesstaate oder aus einem fremden Lande führte auf seiner Farm dasjenige Verfahren der Bewässerung ein, welches in seiner Heimat gebräuchlich war, ohne Rücksicht darauf, ob es im vorliegenden Falle angebracht war. Bei der Wahl des Bewässerungsverfahrens kommt allerdings auch die Geldfrage in Betracht.

Die Art der Bewässerungsanlagen hängt ferner von dem der Farm zur Verfügung stehenden Wasserzufluß ab. Es kann sich um einen kleinen beständigen Zufluß oder um eine große Wassermenge auf eine kurze Zeit handeln. Sodann ist das Klima bei der Anlage in Berücksichtigung zu ziehen. In den trockenen Gegenden erheischen der Boden und der Untergrund besondere Verfahren zur Vorbereitung der Oberfläche und besondere Methoden der Wasserbeschaffung. An der einen Stelle kann das Furchensystem wegen der Durchlässigkeit des Bodens und Untergrundes nicht angewendet werden, während in einer anderen Gegend nur Furchen zur Anwendung kommen können, weil die feinen Teilchen basaltischen Bodens bei Überflutung der ganzen Oberfläche so rasch zusammenbacken, daß sie die Gewächse schädigen würden. Ebenso sind die Natur der Oberfläche des Bodens und ihre etwaige abschüssige Lage zu beachten und schließlich bestimmt zum Teil auch die Art der anzubauenden Früchte das Bewässerungsverfahren.

Die ursprünglichen einfachen Bewässerungsverfahren fanden in den Weststaaten zunächst ziemlich allgemein Anwendung. Um den Boden für die Bewässerung vorzubereiten, bedient man sich gewöhnlich folgender Geräte zum Ebnen der Felder: Erdräumer (scraper), rechteckige Planierer (rectangular leveler) und Planierer (planers). Erstere werden in ganz Kalifornien viel gebraucht, sie entfernen das Gestrüpp und reißen den größeren Teil der Erderhöhungen ein (siehe Abb. 2). Das lose Buschwerk wird zu Haufen gebracht und verbrannt.

In Wyoming und Nordcolorado haben manche Landwirte ihre Hauptkanäle mit Hilfe eines Nivellierinstruments auf den höchstgelegenen Teilen der Farm angelegt; sie haben dann, wenn die Zeit zur Anlegung der Nebengräben kommt, die größte Fläche zu sehr geringen Kosten und dauernd zur Verfügung. An andern Orten wird das Geländegefälle aber auch nur roh geschätzt.

In Kalifornien hat man vielfach das sogenannte Schachbrett(chek)-Verfahren der Bewässerung, doch führte Kalifornien bei Annahme dieses uralten Bewässerungssystems manche Änderungen ein. Das schachbrettartige Netz von Kanälen, die von Erddämmen rechts und links eingefaßt sind, wird so angelegt, daß bestimmte Zuflußöffnungen vorgesehen bleiben, durch die das Wasser in die Abteile eingelassen wird. Es sind einfache rechteckige Öffnungen, die durch Erddämme gehen und durch Schützen geregelt werden können (s. Abb. 3).

Vielfach besteht auch der Brauch, eine große Menge Wasser in kurzer Zeit zuzuführen, wobei das Bewässerungsgebiet durch Erddämme in größere Abteilungen zerlegt wird, die nach dem auch bei uns üblichen Verfahren überstaut werden. Manchmal zerlegt man das zu bewässernde Land nach Abb. 4 in lange schmale Rechteckstreifen, man spricht dann von einem Borderverfahren. Die Furchenbewässerung erweist sich insofern als vorteilhaft für den trockenen Westen, als sie weniger Wasser wie jede andere Form der Berieselung verlangt, weil die der Verdunstung ausgesetzte Wasseroberfläche sich auf einen kleinen Teil der Gesamtoberfläche, selten mehr als 5 vH., beschränkt (s. Abb. 5).



Abb. 2. Erdräumer.

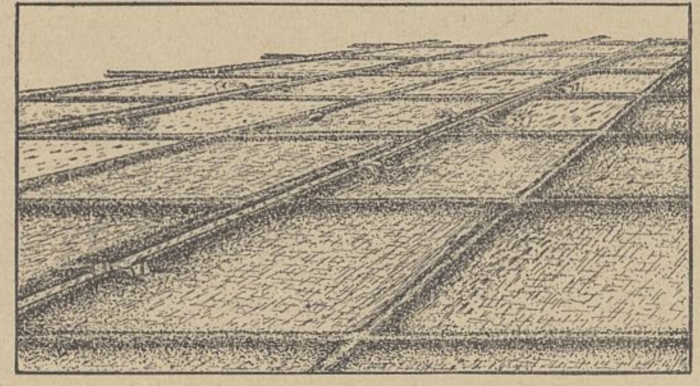


Abb. 3. Schachbrettverfahren der Bewässerung.

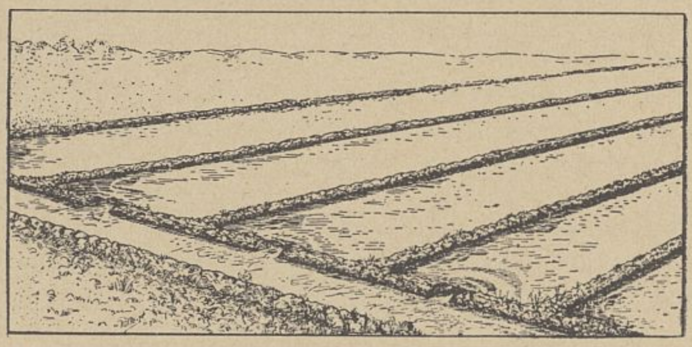


Abb. 4. Borderverfahren der Bewässerung.

In anderen Gegenden benutzt man das Beckenverfahren (Basin-Method), besonders in den Obstbaugebieten Kaliforniens (s. Abb. 6). Gegen vier Fünftel aller dort bewässerten Obstgärten werden mit Hilfe kleiner Becken bewässert, wozu das Wasser vielfach Pumpbrunnen liefern, jedoch versorgen auch verschiedene Bäche die Hauptkanäle während der Regenmonate Januar bis April mit beträchtlichen Wassermengen. Zur Verteilung nimmt man ferner Metallröhren, selbst Schläuche, die den Vorteil haben, daß sie keine Feldgräben erfordern, was eine Ersparnis an Anbaufläche und an Zeit bedeutet. Als Ersatz der Röhren verwendet man zuweilen offene Rinnen aus galvanisiertem Eisen, in dreieckiger Form meist aus Wellblech hergestellt.

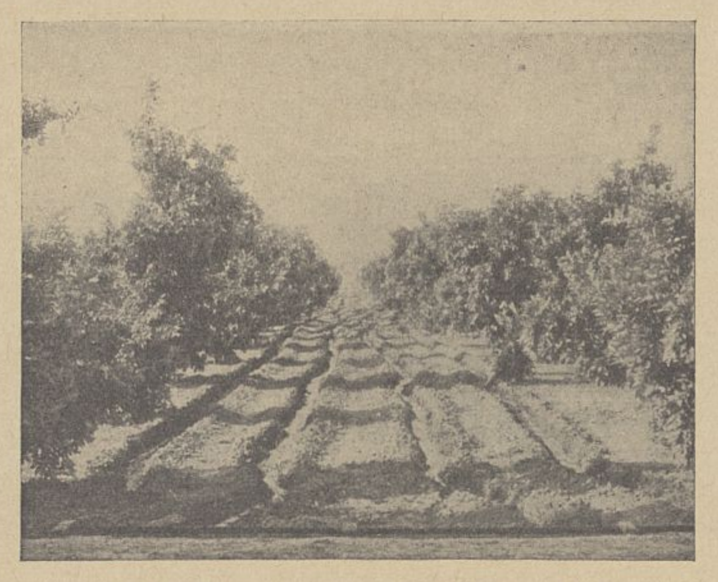


Abb. 5. Furchenbewässerung eines Orangegartens.

Im Staate Washington findet der Natur des Bodens entsprechend mehr das Furchensystem Anklang, wobei man an Stelle der Hauptgräben häufig hölzerne Rohre oder Rinnen anwendet, die in vieler Hinsicht besser sind, wenn das Feld sehr starkes Gefälle besitzt. In diese Rinnen sind an entsprechenden Stellen Löcher gebohrt, durch welche das Wasser abfließt. In Montana ist das übliche Bewässerungssystem die Überstauung von Feldgräben aus (Flooding from field laterals, s. Abb. 7).

Die Bedingungen, unter denen die Farmer in den zerstreuten Tälern von Nevada eine Bewässerung vornehmen, gehen weit auseinander. In manchen Gegenden dieses Staates herrscht Überfluß an Wasser und da wird offenkundige Verschwendung getrieben. In anderen Gegenden Nevadas muß die größte Sparsamkeit im Wasserverbrauch beobachtet werden. Heimische Gräser, besonders Luzernefelder, werden bis zu 22 mal in einem Wachstumsverlauf bewässert, auch Getreidefelder erhalten oft diese nämliche übermäßige Verwendung des Wassers. Die Furchenbewässerung ist wohl am verbreitetsten. Bei den Bewässerungsverfahren im Becken des Großen Salzsees wird das Wasser vielfach nicht auf die Furchen allein beschränkt, sondern man läßt es überfließen; die Furchen

dienen hierbei also lediglich als Leitungen. Solche Hauptleitungsgräben sollen 2 bis 3 Kubikfuß Wasser in der Sekunde liefern. In den Staaten Colorado, Wyoming, Nebraska und im westlichen Kansas stimmt das Bewässerungsverfahren im wesentlichen mit dem anderer Weststaaten überein.

Man unterscheidet also folgende hauptsächlichsten Bewässerungsverfahren: Das Schachbrett (check)-System, meist auf leichtem sandigen Boden; auf schwerem Lehmboden nur dann, wenn die Oberfläche nach der Bewässerung nicht zusammenbackt. Auch für Felder mit starkem Gefälle ist dies Verfahren nicht sonderlich geeignet. Es erfordert in der gewöhnlichen Anwendung einen Wasserzufluß von 5 bis 10 Kubikfuß in der Sekunde, und die Vorbereitung des Landes kostet im ersten Jahre 7 bis 20 $ pro Acre. Das zweite System ist die Bewässerung durch Überstauung (flooding system) von Feldgräben aus. In Hinsicht auf die große Verschiedenheit der Ansichten, der Vorbedingungen und der Gewohnheiten ist es sehr schwierig anzugeben, in welchem Falle dieses Überstauungsverfahren vorteilhaft zur Anwendung gelangt. Jedenfalls soll zunächst das Land billig und reichlich vorhanden sein. Es ist zwar das Überflutungsverfahren hinsichtlich der ersten Kosten eine der billigsten Methoden, andererseits kann ein Mann durchschnittlich nicht mehr als 3 Acre in 10 Stunden bewässern, und die Ernten werden nicht gleichmäßig, wenndas Wasser ungleichmäßig verteilt wird. Bei dem dritten Verfahren, der Furchenbewässerung, ist zwar der Wasserverlust durch Verdunstung und Einsickern gering, die Verwendung kurzer Röhren oder anderer geeigneter Hilfsmittel zur gleichmäßigen Verteilung des Wasserzuflusses an die Furchen wird sehr empfohlen. Andererseits kann man hierbei keine großen Wassermengen dem Felde rasch zuführen, bei dem gewöhnlichen Verfahren ist der Wasserzufluß durch die Furchen ungleich, auf porösem Boden auch die Verteilung schwierig u. a. Das vierte System der Bewässerung, das Beckenverfahren, beschränkt sich in der Hauptsache auf die Bewässerung von Obstgärten, aber auch hier ist man vielfach schon zum wirtschaftlicheren Furchenverfahren übergegangen. Nichtsdestoweniger bleibt das Beckenverfahren auch weiterhin beliebt und da vorherrschend, wo günstige Vorbedingungen hierzu gegeben sind. In den wärmeren Teilen von Kalifornien, Arizona, Neu-Mexiko und Texas ist die Winterbewässerung von Gewächsen und besonders von Obstgärten ein feststehender Gebrauch geworden, der gute Erfolge bringt.

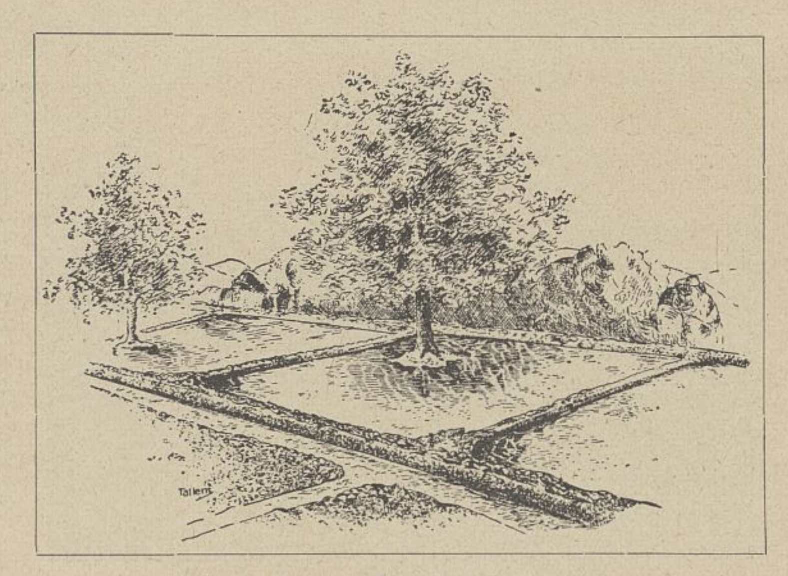


Abb. 6. Beckenverfahren der Bewässerung.

Die durchschnittlichen Jahreskosten der verschiedenen Bewässerungsverfahren beliefen sich nach einer Aufstellung des Department of Agriculture in Washington für den Acre:

bei dem Schachbrettverfahren . . . auf 2,30 bis 4,90 $,
„ der Überflutung durch Feldgräben „ 1,56 „ 3,95 $,
„ „ Furchenbewässerung . . . „ 2,10 „ 4,65 $,
„ „ Beckenbewässerung . . . . „ 3,00 „ 6,00 $.

3. Das Eingreifen der Regierung.

Nachdem der Vorrat der für die Zwecke des Ackerbaues ohne weiteres verwendbaren öffentlichen Ländereien in den Vereinigten Staaten von Jahr zu Jahr sich verringert hatte, wurde von der Bevölkerung immer stärker das Verlangen geäußert, die weit ausgedehnten Ödländereien des Westens auf systematischem Wege künstlich zu bewässern und dadurch für die Ansiedlung geeignet zu machen. Da ein derartiges umfangreiches Unternehmen weder von privaten Körperschaften noch von den Einzelstaaten mit Nutzen für die Allgemeinheit ausgeführt werden konnte, so wurde beantragt, daß die Regierung in Washington die Durchführung des Werkes in die Hand nehmen möge. Das ganze Werk sollte dem nationalen Irrigationskongresse übertragen werden, dem reichliche praktisch-technische Erfahrung zu Gebote stand.

Während die bisherige Bewässerungsmethode, die lediglich auf das Privatkapital angewiesen war, sich im allgemeinen damit begnügte, das in einer Niederung aus einem Flusse oder einem Bache entnommene Wasser über die nächstgelegenen und leicht zugänglichen Ländereien zu leiten, stellte sich die moderne amerikanische Bewässerungswirtschaft die Aufgabe, mit Hilfe künstlicher Stauanlagen aller Art, durch Erbohrung artesischen Wassers, durch Herstellung ausgedehnter Kanäle, die hier durch Aquädukte über Talsenkungen geführt, dort mittels Tunnels durch sich entgegenstellende Bergrücken hindurchgeleitet werden, alle nur zugänglichen Trockenländereien zu bewässern und fruchtbar zu machen.

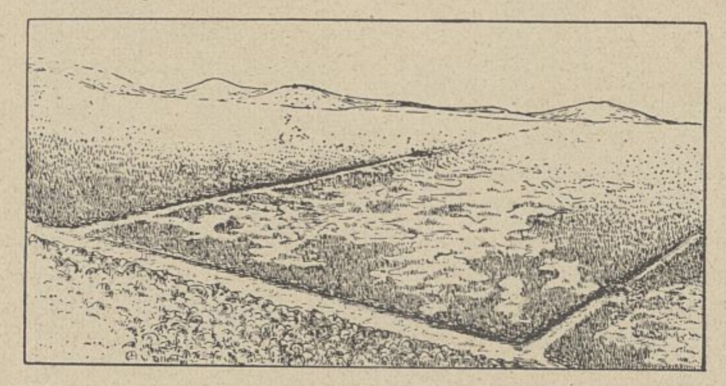


Abb. 7. Überstauung der Feldgräben.

Nach mehrfachen Anstrengungen des erwähnten Irrigationskongresses und nachdem der Präsident Roosevelt seinen gewichtigen Einfluß eingesetzt hatte, ließ sich der Bundeskongreß zur Annahme eines Gesetzes bewegen, durch

welches die Bewässerung zu einem nationalen Unternehmen der Vereinigten Staaten geworden ist.

Dieses am 17. Juni 1902 erlassene Gesetz führt den Titel: „An Act appropriating the receipts from the Sale and Disposal of public Lands in certain States and Territories to the construction of Irrigation Works for the Reclamation of arid Lands". Es bestimmt, daß alles Geld, welches aus dem Verkauf öffentlicher Ländereien in den beteiligten 13 Staaten und Territorien des Westens erlöst wird, zur Bildung eines Stammkapitals zur Urbarmachung von Ödland verwendet werden soll. Daraus sind die Kosten des Entwurfs, der Herstellung und Unterhaltung von Bewässerungsanlagen zu bestreiten. Falls die in einem Staate erzielten Erlöse zur Deckung der entstehenden Kosten nicht ausreichen, so sind sie einstweilen aus dem Fonds vorzustrecken. Diese Auslagen müssen jedoch ersetzt werden, und zwar von den bereits vorhandenen Bewohnern innerhalb zehn Jahren, von neuen Ansiedlern nach erfolgter Durchführung der Bewässerung, aber vor Ausfertigung des Besitztitels. Nach erfolgter Rückzahlung der Auslagen übergibt die Regierung die fernere Verwaltung einer aus den Ansiedlern bestehenden Genossenschaft — The User's Association —, die auf der Grundlage der alten „Town Meetings" errichtet werden soll. Um Spekulationen mit den zu verbessernden Ländereien zu verhindern, ist vom Augenblicke der Einleitung der Vorarbeiten ab die beliebige Besitznahme des Landes verboten.



Abb. 8. Mit Salbei bedecktes Trockengebiet vor der Bewässerung.

Man hat sich dabei richtigerweise von dem Grundsatze leiten lassen, daß das Regierungsland nicht einzelnen Körperschaften, sondern dem ganzen amerikanischen Volke gehören soll, eine Auffassung, die auch bei der Errichtung der Forstreservationen zur Geltung gekommen ist.

Ferner bestimmt das Gesetz, daß niemand für eine größere Fläche als 160 Acres = 65 ha Wasser- oder Berieselungsrechte erwerben kann. Auf Grund des Heimstättengesetzes ist solche Sicherung von Wasserrechten nur den wirklichen — bona fide — Ansiedlern zugestanden, die auf ihrem Lande wohnen und es ganz oder teilweise anbauen. Ein dauerndes Anrecht auf regelmäßigen Wasserbezug erhält der Ansiedler erst dann, wenn er für das von ihm erworbene Land volle Zahlung geleistet hat. Wer bewässertes Land kauft, muß mindestens die Hälfte der Fläche der Landwirtschaft zuwenden.

Nachdem das Bewässerungsgesetz am 17. Juni 1902 durch die Annahme im Bundeskongreß Rechtskraft erlangt hatte, wurden die ersten Vorarbeiten vom geologischen Vermessungsamte unter Aufsicht des Staatssekretärs des Innern ausgeführt. Man ging, amerikanischer Gewohnheit gemäß, und diesmal allerdings auch der äußerst umfangreichen Aufgabe entsprechend, in großem Maßstabe ans Werk. Seit dem Erlasse des Bundesgesetzes sind gleich in den ersten Jahren vielfach Kommissionen ernannt worden, um die Flüsse und sonstigen Wasserquellen in den in Betracht kommenden Gebieten zu vermessen, Kostenanschläge zu entwerfen und von verschiedenen Projekten das praktischste auszuwählen. Die technische Oberleitung liegt in den Händen des Chefingenieurs des Irrigationswesens F. H. Newell, der bis dahin Leiter der hydrographischen Abteilung des Vermessungsamtes der Vereinigten Staaten war. Ihm zur Seite sind an dem Werke rd. 400 sorgfältig ausgewählte Ingenieure, Assistenten und sonstige Sachverständige beschäftigt. Ein aus 15 Mitgliedern bestehender „Board" von beratenden Ingenieuren ist ihm beigegeben; außerdem ist für jeden Staat, wo Bewässerungsarbeiten geplant sind, ein Bezirksingenieur eingesetzt. Das von den Ingenieuren an Ort und



Abb. 9. Dasselbe Gebiet nach Einführung der Bewässerung.

Stelle gesammelte Informationsmaterial, das sich auf die verfügbare Wassermenge, die Lage und Größe der Staubecken usw. bezieht, ist schon in den ersten drei Jahren zu einem beträchtlichen Umfange angewachsen.

Während man in den letzten Jahrzehnten des vorigen Jahrhunderts vielfach noch der Ansicht war, daß der zwischen dem 100. Grad westlicher Länge und den Gebirgszügen des amerikanischen Westens gelegene, als Trockenzone bekannte große Landesteil, der nur Salbei (sagebrush) und einzelne Steppenpflanzen hervorbringt, für immer dem Ackerbau verschlossen und allenfalls nur zu wilder Steppenviehhaltung geeignet sei, ist durch die Untersuchungen der Irrigationsingenieure dargetan, daß diese Annahme sich nicht weiter aufrecht erhalten läßt. Die Bewässerung ist es, die dem Vordringen der Farmwirtschaft in jene, bisher von der Bodenkultur ausgeschlossenen Gebiete die Wege bahnt und dadurch eine sehr bedeutsame Verschiebung von Produktionsmöglichkeiten eingeleitet hat. Die erstaunlichen Erfolge, welche bereits früher ohne Mitwirkung der Regierung in dem Staate Utah durch die Arbeit der dortigen Mormonen, wie auch in Südkalifornien durch großartige private Unternehmungen erzielt wurden, ließen schon mit Sicherheit erwarten, daß die sich seit 1902 nach einem einheitlichen Plane vollziehende Ausbreitung der Bewässerungswirtschaft sich zu einem Kulturwerke auswachsen werde. Daß dieses Ziel in hohem Maße praktisch erreicht wurde und immer noch weitere ehemalige Ödländereien durch systematische Bewässerung der Kultur erschlossen werden, soll in den weiteren Ausführungen auf Grund der verschiedenen amtlichen Berichte des Leiters F. H. Newell gezeigt werden. Die Abb. 8 u. 9 zeigen ein Trockengebiet vor und nach der Bewässerung.

Schon drei Jahre nach der Annahme des Reklamierungsgesetzes, wie es nach den Schlußworten seines langen Titels: „the reclamation of arid Lands" kurz genannt wird, nämlich im Jahre 1905, wurde der erste, unter Leitung der Regierung gebaute Bewässerungskanal eröffnet. Es ist dies die Truckee-Carson-Anlage im Staate Nevada, durch welche 250000 Acres der dortigen Wüste mit Leitungsgräben versehen werden (s. Abb. 15). Mit jedem weiteren Jahre hoffte man wenigstens ein großes Projekt zu vollenden. Das Jahr 1905 bot auch noch aus einem anderen äußeren Anlaß der Regierung Gelegenheit, über ihre Arbeiten, Pläne und Absichten betreffs der Bewässerung von Ödland in den Weststaaten einen übersichtlichen Bericht abzustatten. Bei Gelegenheit einer größeren Ausstellung in Portland tagte dortselbst in der Zeit vom 21. bis 24. August 1905 die 13. Jahressitzung des nationalen Irrigationskongresses. Die Verhandlungen dieser Körperschaft erhielten dadurch ein erhöhtes Interesse, daß die Regierung in der Ausstellung, und zwar zum ersten Male, eine Sonderausstellung veranstaltet hatte, welche durch Modelle, Lichtbilder und sonstige Veranschaulichung zeigte, was binnen jener drei Jahre seit Erlaß des Bundesgesetzes auf dem Gebiete der Bewässerung in den Vereinigten Staaten geleistet war und was nach den bereits ausgearbeiteten Entwürfen noch geleistet werden sollte. — Der Plan der Regierung umfaßte damals schon nicht weniger als 50 Millionen Acres, die vorher völlig ertraglos waren, im Laufe der nächsten Jahrzehnte aber besiedelungsfähig gemacht werden können. Auf diese Weise werden Tausende neuer Heimstätten geschaffen und eine sehr bedeutende Steigerung der landwirtschaftlichen Erzeugung der Union wird die Folge dieser Bewässerungen sein.

Abb. 10. Die bedeutendsten Bewässerungsprojekte in den Weststaaten der Union.

Der für die Zwecke der Bewässerung angesammelte Fonds belief sich 1905, also nach dreijährigem Bestehen des Reklamierungsgesetzes, bereits auf rund 30 Mill. Dollar. Er verteilte sich auf die verschiedenen Staaten und Territorien, welche die westliche Hälfte des Landes bilden, nach Maßgabe der innerhalb ihres Gebietes vollzogenen Verkäufe staatlicher öffentlicher Ländereien, wie folgt:

Arizona	166403 $	Neu-Mexiko	420202 $
Kalifornien	1971908 „	North Dakota	3406100 „
Colorado	1591157 „	Oklahama	2552137 „
Idaho	1645529 „	Oregon	4230659 „
Kansas	97849 „	South Dakota	742780 „
Montana	1749002 „	Utah	302351 „
Nebraska	477973 „	Washington	2755362 „
Nevada	48153 „	Wyoming	275253 „

Mit einer solchen Kapitalansammlung von nahezu 30 Millionen Dollar konnte die Bewässerungskommission schon reichlich praktische Arbeit leisten und es waren demgemäß 1905 nach den Angaben des Chefingenieurs F. H. Newell bereits verschiedene größere Anlagen teils im Bau begriffen, teils entworfen. Auf dem Kongresse in Portland wurde auch in besonderem Maße auf die hohe Wichtigkeit der Erhaltung der Wälder hingewiesen. Da für die Regulierung des Wasserzuflusses die Bewaldung von überaus großer Bedeutung ist, so wollte eine so große Versammlung von hervorragenden

Forstbeamten der nationalen Forstverwaltung, wie sie die Ausstellung in Portland zufällig zusammenbrachte, es nicht unterlassen, nachdrücklich auf die zwingende Notwendigkeit einer besseren Pflege und Schonung der Wälder hinzuweisen. Des ferneren wurde erklärt, daß die bewässerten Ländereien vorzugsweise zum Anbau von Zuckerrüben geeignet befunden seien und daß dort Zuckerfabriken mit besonderem Erfolge angelegt worden sind. Unverkennbar hatte diese Industrie schon in den wenigen ersten Jahren nach Einführung der Bewässerung gerade in den Trockenstaaten einen Aufschwung genommen; allein im südlichen Idaho waren innerhalb der zwei Jahre 1903 und 1904 nicht weniger als drei große Zuckerfabriken entstanden, denen sich bald noch mehrere schon im Entwurf fertiggestellte Werke anschließen werden. Da die Vereinigten Staaten, nach den auf der Ausstellung zu Portland gemachten Angaben, zur Deckung des eigenen Zuckerbedarfs jährlich noch für mindestens 150 Millionen Dollar für ausländischen Zucker bezahlen müssen, so erscheint mit den Bewässerungsländereien auch die Möglichkeit gegeben, daß die Union durch vermehrte eigene Zuckergewinnung sich vom Auslande unabhängig machen könne, wenn auch allerdings dieser Zeitpunkt noch in weiter Zukunft liegt.

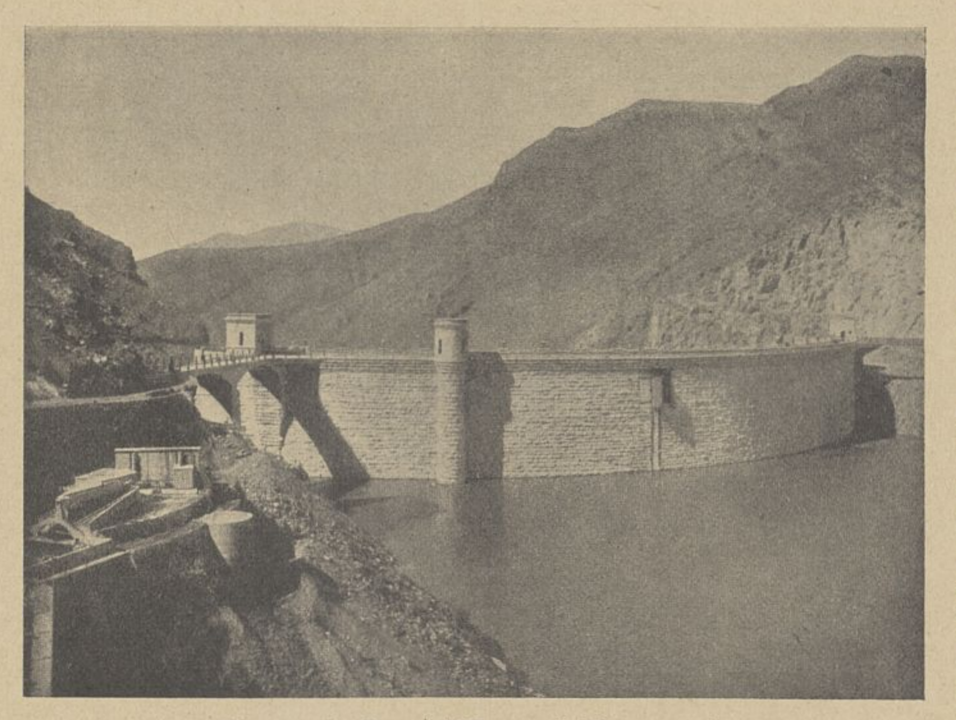


Abb. 11. Der Roosevelt-Damm, flußabwärts gesehen.

In dem Berichte des Chefingenieurs F. H. Newell, welchen dieser auf dem Kongresse in Portland erstattete, geht hervor, daß die amerikanische Regierung bis 1905 bereits über folgende Bewässerungsanlagen Auskunft zu geben in der Lage war (s. Abb. 10). Arizona erhält den Roosevelt-Damm, dessen Herstellungskosten auf $1^1/_2$ Mill. Dollar geschätzt wurden. In Kalifornien wird ein Staubecken für 1 Mill. Dollar gebaut. In Colorado wird der Gunnison-Tunnel in einer Länge von 30000 Fuß mit einem Kostenaufwande von etwas über 1 Mill. Dollar hergestellt werden. In Montana wird bei Glendive ein Kanal und in Nebraska ein Kanal nebst Tunnel angelegt. Neu-Mexiko erhält das Hondo-Stauwerk nebst dazu gehörigen Kanälen. In North Dakota wird der Fort Buford-Kanal gebaut, zu welchem der Bauvertrag im Jahre 1905 schon geschlossen war. In South Dakota soll der Belle Fourche-Kanal gebaut werden und in Wyoming werden verschiedene Stauwerke sowie ein Kanal am Shoshonefluß angelegt.

An ferneren Werken waren 1905 bereits geplant: In Idaho zunächst in der Nähe des Ortes Minidoka eine 675 Fuß lange Stauanlage, durch die ein großer Teil des Wasserlaufs des Schlangenflusses (Snake River) gehoben und in zwei Kanäle abgeleitet wird, wodurch 65000 Acres unter Wasserkultur gebracht werden. Das Innere dieses Staates, besonders das Tal des Schlangenflusses, ist Verwitterungsboden vulkanischen Ursprungs und kann durch die Berieselung sehr fruchtbar gemacht werden. Durch Erweiterung der bereits vorhandenen und durch Herstellung von neuen Bewässerungsanlagen, sowie durch ein besseres Verfahren der Wasserverteilung soll in Idaho mit der Zeit eine Fläche bis zu $2^1/_2$ Millionen Acres berieselungsfähig gemacht werden, um dadurch dem jetzt noch dünn bevölkerten Staate einen starken Zufluß von Einwanderern sichern zu können. In Oregon und Washington war hingegen, obwohl diese Staaten bereits in hervorragendem Maße — rund 7 Mill. Dollar — zu dem Bewässerungskapital beigesteuert hatten, mit der Ausführung der ins Auge gefaßten Bewässerungsarbeiten 1905 noch nicht begonnen worden, da noch einzelne private Einsprüche an größeren Landbesitzen zu regeln waren, zu deren Beseitigung der Regierung das Enteignungsrecht verliehen werden mußte. Von den vier Entwürfen, die für das Staatsgebiet Oregon aufgestellt waren, sollte zunächst die Bewässerung des bis in den nördlichen Teil von Kalifornien sich ausdehnenden, vom Flusse Klamath gebildeten und zwei bedeutende Seen einschließenden Beckens zur Ausführung kommen. Es würden dadurch 25000 Acres Trockenland berieselt werden. Die Kosten sind auf durchschnittlich 18 $ für den Acre, insgesamt also auf $4^1/_2$ Mill. Dollar veranschlagt. Im Staate Washington ist für die Berieselung hauptsächlich der südöstliche Teil des Staates in Betracht gezogen und von technischer Seite das sogenannte Palouse-Projekt zur Ausführung empfohlen. Es handelt sich darum, einem zwischen dem Schlangenflusse und dem Columbiaflusse gelegenen Landstrich von 100000 Acres das nötige Berieselungswasser aus dem Fluß Palouse zuzuführen.

Als wichtig für die geplante Durchführung all dieser vielen Projekte, zu welchen im Laufe der späteren Jahre, wie wir sehen werden, noch andere hinzutraten, hielt man es für nötig, die Bundesregierung mit gesetzlichen Befugnissen auszustatten, damit sie, wenn die Zwecke der Bewässerung es erfordern, Enteignungsrechte geltend machen könne. Außerdem wurde der Entschluß gefaßt, daß die Regierung andererseits nicht die Durchführung von privaten Unternehmungen, die bereits früher zur Urbarmachung von Trockenland begonnen wurden, verhindern solle. — Damit ist der Stand der Angelegenheit bis zur Mitte des Jahres

1905 in großen Zügen kurz skizziert. — Wir geben nun im folgenden genauere Ausführungen über die verschiedenen Bewässerungsanlagen, welche von der amerikanischen Regierung unternommen und teilweise bereits fertiggestellt sind. Die Reihenfolge der Staaten wird nach dem Alphabete angesetzt. —

1. Die Salt River-Anlage in Arizona.

Diese Anlage wird aus dem Salzflusse und seinem Nebenflusse Tonto gespeist. Da die beiden Flüsse während der alljährlichen Bewässerungsperiode nicht genügend Wasser zu liefern vermögen, um die in Aussicht genommene Bewässerungsfläche ausreichend zu berieseln, so hat man bei dem Orte Roosevelt, da wo der Tonto in den Salzfluß mündet, ein großes Staubecken angelegt. Zur Füllung des letzteren dient der massive Roosevelt-Damm, der an der Sohle 235 Fuß, an der Krone 1080 Fuß Länge besitzt, und dessen Höhe 280 Fuß beträgt (s. Abb. 11). Durch die Sperrung des Flußtales wird ein künstlicher See von 40 km Länge und $1^1/_2$ bis 3 km Breite geschaffen. Der Roosevelt-Damm erforderte zu seiner Herstellung, abgesehen von Felsstücken und Sand, die in der nächsten Nähe des Werkes gefördert wurden, etwa 280000 Faß Zement. Da die Baustelle aber ungefähr 60 km von der nächsten Bahnstation entfernt liegt, so hat man zur Ersparung der Kosten des Zementtransports eine Zementfabrik an Ort und Stelle gebaut. Die Rohmaterialien für die Herstellung des Zements sind in der Nähe der Baustelle vorhanden. Ohne Einberechnung des Zements hat man die Baukosten des Dammes auf 1147600 $ veranschlagt. Die Gesamtkosten der ganzen Bewässerungsanlage sollen ungefähr $4^1/_2$ Mill. Dollar betragen.

Das im Jahre 1904 begonnene Projekt bei Roosevelt, oder wie man später allgemein sagte, die Salt River-Anlage in Arizona bezweckt die Gewinnung von reichlich 200000 Acres Farmland im Gebiete von Phoenix. Die Stadt Phoenix mit etwa 8000 Einwohnern (1907) ist ein blühender Ort, dessen Wohlstand mit der Bedeutung der Landwirtschaft im Salt River-Tale in beständigem Wachsen begriffen ist.

Die natürlichen Voraussetzungen zur Anlage einer solchen Talsperre müssen hier als außerordentlich günstig bezeichnet werden. Das erforderliche Material, insbesondere der zum Bau benutzte feste Sandstein, konnte ebenso wie die zur Zementbereitung nötigen Stoffe in unmittelbarer Nähe gewonnen werden. Das andauernd starke Gefälle unterhalb des Dammes ermöglicht schließlich eine leichte Verteilung des Wassers in die Bewässerungskanäle, die ungefähr 80 km unterhalb von einem Verteilungsdamm ausgehen. Die Baulage ist hier derart günstig, daß die Privatgesellschaften, welche die Bewässerung des Geländes bei Phoenix bereits seit ungefähr dem Jahre 1887 in die Hand genommen hatten, in Anbetracht dieser angedeuteten vorteilhaften Umstände zweifellos das Projekt mit privatem Kapital aufgenommen haben würden, wenn ihnen nicht eben die Regierung hier zuvorgekommen wäre.

Die der technischen Ausführung entgegenstehenden besonderen Schwierigkeiten mußten durch kostspielige vorbereitende Anlagen behoben werden. Zunächst war es erforderlich, behufs Beschaffung von Holz eine Sägemühle 30 km nördlich innerhalb der ausgedehnten Waldgebiete mit einer jährlichen Verarbeitung von 3 Millionen Fuß Holz anzulegen. Zur Krafterzeugung mußte bei der Unmöglichkeit der Beschaffung von Kohle zu annehmbarem Preise Wasserkraft verwendet werden. Zu diesem Zwecke wurde ein etwa 30 km langer Kanal angelegt, der sich östlich von Livingstone vom Salt River abzweigte und mit geringem Gefälle bis zur Dammanlage geleitet wird. Die Kosten dieses Kanals, dessen Bett im unteren Lauf zementiert ist, wurden im Voranschlag auf fast 1 Mill. Dollar bemessen, wobei man ansetzte, daß er 250 Kubikfuß Wasser in der Sekunde leisten solle. Durch die lebendige Kraft des aus einer Höhe von 175 Fuß in einem Rohre von 7 Fuß Durchmesser herabfallenden Wassers wird eine Turbinenanlage getrieben, die 4500 PS. Leistungsfähigkeit besitzt. Diese Kraft wird, außer zum Betriebe der Anlage, auch zum Treiben der elektrischen Pumpwerke im unteren Salt River-Tale benutzt. Die bereits erwähnte Zementfabrik wurde bei Roosevelt erbaut, sie beschäftigte gleich von Anfang an 40 Mann. Verarbeitet wurden Kalkstein und Ton in dem Verhältnis von 3 : 1; Heizmaterial ist Petroleum. Zur zeitweisen Ableitung des Flußwassers dient ein Tunnel, der das Wasser linksseitwärts vom Flußlauf eine Strecke durch die Felsen führt. Dieser Tunnel hat 7 Fuß im Durchmesser und besitzt bei größter Stauhöhe eine Leistungsfähigkeit von 40000 Kubikfuß in der Sekunde. Im allgemeinen rechnete man jedoch lediglich mit einem Wasserdurchlauf von 1400 Kubikfuß sekundlich. Innerhalb des Tunnels befinden sich zwei Stauverschlüsse mit je drei Schleusen, die einzeln geöffnet und geschlossen werden können. Die Wasserregulierung erfolgt auf hydraulischem Wege. Die Tunnelwände bestehen aus Zement, am Auslauf teilweise aus Stahl. Eine der Hauptaufgaben dieses Tunnels in späterer Zeit soll darin bestehen, die Entfernung von Ablagerungen, die sich vermutlich in größeren Mengen im Flußlauf oberhalb des Dammes ansetzen werden, zu ermöglichen, also als Spülvorrichtung zu dienen.

Neben diesen Vorarbeiten trat man dann an die Errichtung des eigentlichen Hauptwerks, des Staudammes. Das Steinmaterial für den Damm wurde, roh behauen, mittels Kran an Ort und Stelle geführt. Den Sand zur Bereitung des Mörtels gewann man aus dem naheliegenden dolomitischen Kalkstein, der in einer besonderen Anlage flußabwärts zerkleinert wurde. Die Errichtung des Dammes selbst wurde vertraglich an einen Unternehmer gegen eine Summe von 1150000 $ — ausschließlich Materialien und Krafterzeugung — vergeben.

Oberhalb der Sperrmauer errichtete provisorische Dammanlagen waren bereits zweimal zur Zeit des Hochwassers fortgerissen worden. Zur Beförderung von Gestein und sonstigem Material zwischen den beiden Felswänden dienten Drahtseilbahnen, die sich 300 bis 400 Fuß über dem Wasserspiegel befanden und von Kabeln von $2^1/_4$ Zoll Durchmesser getragen wurden. Diese Drahtseilbahnen dienten während des Baues auch zur Beförderung der Arbeiter an ihre Arbeitsstellen und haben sich dabei vortrefflich bewährt. Soweit die Arbeiten am Staudamm nicht vertraglich vergeben waren, zahlte die Regierung an die Steinhauer 50 Cts. pro Stunde, bei der für Regierungsarbeiten üblichen Arbeitsdauer von 8 Stunden. In dem Damm ist in einer Höhe von 80 Fuß über dem Wasserspiegel eine Öffnung angebracht, durch

welche gegebenenfalls bei Bedarf Wasser direkt in die Kraftstation — zum Ersatze für das Wasser des Kanals — geführt werden kann.

Die Bewässerung des Salt River-Tales im Umkreise von Mesa und Phoenix war in Anbetracht der ebenen Lage und vortrefflichen Bodenbeschaffenheit bereits seit mehr als 20 Jahren vor 1905 in Angriff genommen worden, einer weiteren Ausdehnung der anbaufähigen Fläche stand jedoch der Mangel an Wasser hindernd im Wege. Die Errichtung des Staudammes bei Roosevelt bringt nun eine erhebliche Vergrößerung des bewässerungsfähigen Landes zustande, das sich dann etwa 18 bis 22 km nördlich und etwa 18 km südlich des Flusses erstrecken wird. Der Umfang des zunächst bewässerten Landes beträgt etwa 95000 Acres, doch sollen nach völliger Fertigstellung der ganzen Stauanlage wenigstens 160000 Acres berieselt werden können.

Einer der leitenden Gesichtspunkte der Bundesregierung ist das Bestreben, durch Schaffung kleiner Farmen die Erhaltung eines leistungsfähigen mittleren Bauernstands zu fördern. Zu diesem Zweck bestimmt das Gesetz im Interesse der tunlichsten Ausschaltung der Bauspekulation, daß das Recht zum Wasserbezuge von einem Landbesitz von höchstens 160 Acres (64 ha) abhängig sein soll. Hieraus erwächst für diejenigen, die etwa zuvor zu Spekulationen größere Landstrecken in dem zur Bewässerung bestimmten Gebiete gewonnen haben, die Notwendigkeit, dieses Land bis auf den ihnen zustehenden Anteil von 160 Acres oder weniger parzellenweise zu verkaufen, da sie andernfalls kein Anrecht auf den Bezug von Wasser haben. Immerhin jedoch erscheint es fraglich, ob die praktische Durchführung dieser Bestimmung in allen Fällen möglich sein wird, zumal drüben solche Spekulanten oder erst recht größere Spekulationsgesellschaften vielfach mit Strohmännern arbeiten.

Die Kosten des Unternehmens sollen in der Weise wieder eingebracht werden, daß die Erwerber der zu bewässernden Ländereien 10 Jahre hindurch jährlich eine gewisse Summe für das ihnen gewährte Wasserbezugsrecht zahlen. Im vorliegenden Falle wird bei der Salt River-Anlage in Arizona dieser Betrag ungefähr 25 bis 30 $ pro Acre für 10 Jahre ausmachen. Nach Ablauf dieser Frist soll das Eigentum an dem Staudamm und sämtlichen übrigen Kanalisationsanlagen in das Eigentum einer eigens neugegründeten „Salt River Valley Water Association" übergehen. Von diesem Zeitpunkt ab haben dann die Grundeigentümer nur einen verhältnismäßig niedrigen Beitrag — von etwa 1 bis $1^1/_4$ $ — zu den Unterhaltungskosten der Kanäle zu entrichten. Dabei ist von der Regierung der Grundsatz aufgestellt, daß durch die so einkommenden Gelder lediglich ein Kapital gewonnen werden soll, das annähernd dem Betrage der gesamten Herstellungskosten entspricht. Auf eine Verzinsung des Anlagekapitals in irgendeiner Form hat die Regierung dabei verzichtet.

Eine Sicherheit für die Deckung der Baukosten ist der Regierung durch die Gründung der „Salt River Valley Water Association" gewährt worden, die sich aus den Anliegern des fraglichen Landgebiets zusammensetzt und vor Beginn des Werkes durch eine Art von Pfandstellung die nötigen Beiträge gezeichnet hat. Die bereits früher von verschiedenen Privatgesellschaften errichteten Dämme und sonstigen Anlagen sollen zunächst sämtlich in das Eigentum der Regierung übergehen, die ihrerseits unter anderem einen großen Verteilungsdamm errichtete, dessen Kosten auf 300000 $ veranschlagt waren. Durch diesen Damm, der eine Länge von 1200 Fuß und eine Höhe von 20 Fuß hat, wird das Wasser in vier verschiedene Kanäle geleitet, von denen aus — in der Richtung von Norden nach Süden — die Bewässerung des Landes erfolgt.

Außer dieser Bewässerung durch Talsperrenwasser ist auch noch eine solche durch Grundwasser vorgesehen, das mittels elektrisch betriebener Pumpen zur Oberfläche gehoben wird. Die Anlage und die zum Betrieb erforderliche Kraft, welche von der Kraftstation in Roosevelt hergeleitet wird, erhalten die zum Wasserbezuge berechtigten Farmer unter den gleichen Bedingungen geliefert: 25 bis 30 $ pro Acre, zahlbar im Laufe von 10 Jahren. Außerdem ist die Abgabe von elektrischer Kraft an einzelne, nicht zur Gesellschaft gehörige Farmer vorgesehen. Im Salt River-Tale sind solche Pumpenanlagen, ähnlich wie sie stellenweise vorher schon in Kalifornien bestanden, in Tätigkeit. Die durch gehobenes Grundwasser bewässerte Fläche beträgt etwa 50000 Acres. Auf diese Weise bewässert z. B. ein Dr. Chaudler auf seiner großen, musterhaft geführten Farm bei Mesa rd. 1000 Acres. Die Pumpe, deren 12 Zoll starke Rohre 250 Fuß tief herabreichen, fördert 5 Kubikfuß Wasser in der Sekunde bei einem Wasserstande von etwa 40 Fuß unter der Oberfläche. Die Kosten der gesamten Anlage beliefen sich auf rd. 6000 $. Zu bemerken ist dabei, daß hier in Arizona das Wasser einen im Sommer und Winter verhältnismäßig gleichbleibend hohen Wärmegrad hat (78^0 F = 26^0 C), was dem Wachstum im Winter zugute kommt.

Der Wert des Landes in dem Bewässerungsgebiete am Salt River hat sich durch diese großen Anlagen natürlich in den Jahren sehr gehoben und betrug schon vor 10 Jahren durchschnittlich 100 $ pro Acre. Hier ist mitten in der ehemaligen Wüste eine Oase geschaffen, in der neben Getreide und Zuckerrüben auch Orangen, Feigen, Datteln, Weintrauben u. a. gedeihen, bei teilweise sehr hohen Erträgen.

Durch die Talsperre können im jährlichen Mittel 1284000 Acres mit 1 Fuß Wasserhöhe bewässert werden. Die amerikanischen Ingenieure sprechen in solchem Falle kurz von 1284000 Acrefeet Leistungsfähigkeit.

Das Wasserbezugsrecht wird nach Acrefeet bemessen. Da 1 Acre 43560 Quadratfuß Fläche hat, so bedeuten beispielsweise 3 Acrefeet Wasserbezugsrechte, daß der betreffende Farmbesitzer 130680 Kubikfuß Wasser auf 1 Acre während des Jahres oder nahezu 1 Million Gallonen (977550 Gallonen) erhält.

Der Wasserbedarf wird auch vielfach derart bemessen, daß man davon ausgeht, daß 1 Sekundenfuß Wasser zur Berieselung von 100 Acres genügt. Die Umrechnung ergibt, daß 1 Kubikfuß pro Sekunde ständig fließend während der Dauer von 24 Stunden 1 Acre bis nahezu 2 Fuß (1,98 Fuß genau) mit Wasser bedeckt. Mit anderen Worten, 1 Sekundenfuß ist ungefähr gleich 2 Acrefeet pro Tag. Dauert also die Bewässerungszeit für eine bestimmte Farm 90 Tage, so genügt 1 Kubikfuß sekundlich für diese 90 Tage, um nahezu 180 Acrefeet Wasser zu liefern, also eine Farmfläche von 100 Acres mit 1,8 Fuß Wasserhöhe zu bedecken. — Die durch den Roosevelt-Damm aufgestaute Wassermenge vermag

demnach rund 1,3 Millionen Acres Farmland 1 Fuß hoch mit Wasser zu versorgen.

Das Talsperrenwasser wird zu Bewässerungszwecken 40 Meilen unterhalb der Staumauer durch einen massiven Staudamm von 38 Fuß Höhe und 1100 Fuß Länge aus dem Salzfluß in zwei Kanäle geleitet, die zu beiden Seiten des Flusses weiterlaufen. Diese Zuleiter bewässern rd. 170000 Acres Farmland in der Umgebung der Orte Phoenix und Mesa. Das ganze Bewässerungssystem umfaßt 499 Meilen Kanäle.

Das Bewässerungsgebiet hat eine Höhenlage von 1000 bis 1300 Fuß über dem Meeresspiegel; die mittlere Jahrestemperatur beträgt 21° C, die Extreme 49° C und —7° C, die jährliche Regenmenge wechselt zwischen 3 bis 10 Zoll. Das Einzugsgebiet des Salzflusses umfaßt 6260 Quadratmeilen, wozu noch weitere 6000 Quadratmeilen vom Verde River hinzutreten. Die jährliche Regenmenge innerhalb dieser gesamten Niederschlagsgebiete liegt zwischen 10 bis 20 Zoll, und man schätzt daraufhin den jährlichen Wasserzufluß auf 804000 Acrefeet beim Roosevelt-Damm. Der Wasserbedarf der Gegend beträgt im allgemeinen zur günstigen Entwicklung der Ernten auf den Farmen 4 Acrefeet jährlich.

Der Boden des Salt River-Tales ist Alluvialboden von sehr großer Fruchtbarkeit und geeignet zum Anbau sehr verschiedener Früchte, dabei auch solcher, die schon subtropisches Klima verlangen. Die öffentlich-staatlichen Ländereien sind bereits alle in Parzellen eingeteilt, und es liegen innerhalb der Bewässerungszone nur einige wenige größere Farmbesitze, die jedoch aufgeteilt und an neue Ansiedler verkauft werden müssen, da die Regierung keinerlei Wasserbezugsrechte auf mehr als 160 Acres Farmland pro Besitzer abgibt. Der Roosevelt-Damm war im Jahre 1910 bereits fertiggestellt.

5. Das Yuma-Projekt in Arizona-Kalifornien.

Ein ebenfalls sehr großzügig angelegtes Projekt ist das staatliche Bewässerungswerk bei Yuma in Arizona, dessen Aufgabe darin besteht, die Bewässerung von 130000 Acres Land in San Diego County, Kalifornien, und in Yuma County, Arizona, zu ermöglichen. Die gesamten Baukosten für dieses Werk sind zu 3 Mill. Dollar veranschlagt und man verspricht sich hier insofern einen besonders guten volkswirtschaftlichen Erfolg, als das zu bewässernde Land reicher Marschboden ist.

Der Ort Yuma liegt auf dem linken Ufer des Coloradoflusses, der daselbst die Grenze zwischen Arizona und Kalifornien bildet, in einer Höhe von etwa 40 m über dem Meeresspiegel. Der unterhalb von Yuma schiffbare Fluß ist dort ziemlich breit und hat eine reißende Strömung. Die von ihm in einer Sekunde vorbeigeführte Wassermenge wird bis zu 100000 Kubikfuß geschätzt. Etwa 2 km oberhalb Yuma mündet der von Osten kommende Gilafluß.

Der Boden ringsum gilt als sehr fruchtbar und bildet in trockenem Zustande pulverigen Staub. Die Büsche, mit denen das Land stellenweise bedeckt ist, lassen sich leicht entfernen. Bewässerungsversuche sollen bereits früher außerordentlich gute Ergebnisse gehabt haben. In der Nähe von Yuma befinden sich vier landwirtschaftliche Versuchsstationen, von denen drei von der Bundesregierung und eine von Arizona eingerichtet sind und auch von diesen unterhalten werden. Die Fruchtbarkeit des Bodens in Verbindung mit dem gleichmäßigen warmen Klima ermöglicht im allgemeinen zwei Ernten im Jahre, Luzerne kann sogar sechsmal im Jahre, bisweilen noch öfter geschnitten werden. Mit Rücksicht auf die große persönliche Sorgfalt, die der Betrieb der Landwirtschaft, zumal viel Gemüsebau getrieben wird, dort erfordert, erscheint es wünschenswert, daß die sich bildenden Farmen im allgemeinen eine Größe von nicht mehr als 40 Acres haben.

Das Bewässerungsprojekt ist im Jahre 1903 in Angriff genommen worden und im März 1909 im wesentlichen in seinem technischen Ausbau fertiggestellt. Zunächst wurden von der Regierung 3 Mill. Dollar aus dem Reklamationsfonds angewiesen. Mit dieser Summe wurden folgende Anlagen errichtet. Etwa 19 km oberhalb Yuma wurde bei Laguna ein 4780 Fuß langer, in der Richtung von Nordwesten nach Südosten laufender Damm durch das Flußbett gebaut, dessen Kosten man auf etwa 1200000 $ berechnete. Zweitens wurden mit Rücksicht auf das Hochwasser an den Ufern sowohl des Colorado als auch des Gilaflusses Deiche von 73 1/2 Meilen Gesamtlänge geschüttet. Die Deichkrone liegt etwa 3 Fuß über der normalen Fluthöhe und besitzt 10 Fuß Breite. Als Drittes wurde eine Reihe von Zuleiterkanälen von insgesamt 100 Meilen Länge gebaut. Die wichtigsten Kanäle sind der Reservationskanal und der Yumakanal; sie beginnen unmittelbar bei dem Lagunadamme und durchziehen das Land rechts und links vom Flusse. Der Yumakanal ist mittels eines Dückers unter dem Gilaflusse durchgeführt. Ein besonderer Entwässerungskanal, der Main Waste-Kanal, zwischen dem östlichen und dem westlichen Kanal, soll dazu dienen, den etwaigen Nachteilen eines Wasserüberflusses vorzubeugen.

Der Lagunadamm verbindet die beiden bei Laguna etwa eine englische Meile voneinander entfernten Hügelketten, die sich längs des Flusses hinziehen. In Ermangelung eines felsigen Untergrundes verbot sich eine erhebliche Höhe des Dammes und seine etwaige Ausnutzung zur Krafterzeugung, wie dies beim Roosevelt-Damm geschehen ist, von selbst. Man hat für den Lagunadamm drei untereinander parallel laufende Zementwälle aufgeführt; die Zwischenräume innerhalb dieser Wälle wurden dann mit Steinen und Zement ausgefüllt, so daß sich oben eine ebene Fläche ergab. Die Höhe dieses Dammes beträgt 19 Fuß und seine untere Breite 260 Fuß. Die Baustoffmenge betrug 305000 Kubikyard (1 Kubikyard = 0,76 cbm) Steine und 27000 Kubikyard Mörtel.

Der Zement wurde von der Coltamanlage in Kalifornien über Yuma zum Preise von 3 $ für das Faß frei Yuma bezogen. Von Yuma gelangte dann der Zement, ebenso wie alle anderen sonstigen Bau- und Rohmaterialien, zu Schiff stromaufwärts bis Laguna. Zur Erleichterung dieses Verkehrs wurde vom Staate eine Eisenbahn auf der kalifornischen Seite des Flusses von Yuma nach Laguna mit gleichzeitig bleibendem Charakter angelegt.

Beiderseitig des Lagunadammes sind Schleusenkanäle mit mechanisch bewegbaren Verschlüssen durch das Felsgestein gebrochen, die etwa 800 Fuß lang und 13 Fuß tief sind; sie münden weiter unterhalb des Dammes wieder in das Flußbett ein. Der Kanal auf der Seite von Arizona vermag wohl 10000 Kubikfuß Wasser in der Sekunde zu bewältigen. Der andere Kanal auf der kalifornischen Seite besitzt nur 40 Fuß Breite und leistet eine sekundliche Wassermenge von etwa 3000 Kubikfuß. Die Schleusenkanäle grenzen

am oberen Ende an die Zuleiterkanäle. Indem die ersteren mit ihrer Sohle 7 bis 8 Fuß tiefer gelegt sind als die letzteren, wird es verhindert, daß Sandablagerungen in die Bewässerungskanäle gelangen.

Wieviel Arbeiter während der gesamten Bauzeit am Yumakanal beschäftigt waren, entzieht sich meiner Kenntnis, nur soviel wurde bekannt, daß z. B. im Jahre 1907 etwa 1000 Arbeiter von der Regierung beschäftigt wurden, davon 700 bei den Dammarbeiten selbst. Unter den Arbeitern waren ziemlich viele Indianer, meistens Yuma-Indianer, deren Niederlassung gegenüber Yuma rechts vom Coloradofluß liegt und an 40000 Acres groß ist. Gewöhnliche Arbeiter bezogen einen Mindestlohn von 2 $ für die achtstündige Schicht, gelernte Arbeiter $2^1/_2$ bis $3^1/_2$ $. Der achtstündige Arbeitstag bildet bei allen von der Regierung der Vereinigten Staaten unternommenen Anlagen die Regel.

Man rechnete schon während des Baues, daß anfänglich eine Bewässerung von $5^1/_2$ Ackerfuß (acre feet), d. h. $5^1/_2$ Fuß pro Acre und Jahr, notwendig sein würde, doch verringert sich dieses Wasserbedürfnis jedenfalls von Jahr zu Jahr, wenn erst der Boden gründlich durchfeuchtet worden ist. Soweit die Parzellierung des in der Indianerniederlassung belegenen Landes in Betracht kommt, erfolgt diese nach den Grundsätzen des amerikanischen Heimstättengesetzes. Dabei sollen die Indianer jedoch nur 5 Acres Bewässerungsland pro Kopf, Frauen und Kinder einbegriffen, erhalten. Tatsächlich befand sich schon längst alles übrige für die Bewässerung in Frage kommende Land in Privathänden. Diejenigen, die mehr als 40 Acres besitzen, werden auch hier zum Weiterverkauf mittelbar gezwungen, da sie anderenfalls nur auf den Bezug des für 40 Acres erforderlichen Wassers Anspruch haben. Die Regierung rechnete seinerzeit auf einen Verkaufspreis von 200 bis 300 $ für den Acre.

Auf der Indianer-Reservation an der kalifornischen Seite des Flusses hat man 173 Farmeinheiten geschaffen, die mit dem 1. März 1910 verteilungsfertig waren, und gleich im selben Jahre konnten schon viele dieser Farmen an neue Ansiedler behufs Urbarmachung und Planiernng des Bodens übergeben werden. Die Kosten des Wasserbezugsrechtes bemessen sich auf 55 $, zahlbar in nicht mehr als 10 Jahresraten, nebst einer jährlichen Zahlung von 1 $ für Unterhaltungs- und Betriebskosten. Als Preis für dasjenige Farmgelände innerhalb der Indianer-Reservation, welches zur Ansiedlung freigegeben ist, hat man 10 $ festgesetzt, ebenfalls binnen 10 Jahren in Raten zahlbar.

Das anbaufähige berieselbare Land umfaßt 17000 Acres in der Yuma-Indianer-Reservation in Kalifornien, 20000 Acres im Tale des Gilaflusses in Arizona und ferner noch 53000 Acres im Tale des Coloradoflusses in Arizona. Wenn das Bewässerungssystem völlig ausgebaut sein wird und auch noch die höheren Ebenen oder Tafellandgebiete südlich von Yuma und östlich von den Farmen Arizonas umfaßt, dann werden noch weitere 40000 Acres zum Anbau von Apfelsinen, Zitronen, Weintrauben, Oliven, Limonen und feinen Gemüsen aller Art, Luzerne, Getreide, Zuckerrüben, Zuckerrohr, Mais, Baumwolle verfügbar sein.

Das gesamte zum Yuma-Projekt gehörige Wassereinzugsgebiet umfaßt 160000 Quadratmeilen mit einer jährlich abströmenden Wassermenge von 15,4 Millionen Acrefeet. Das Land selbst liegt etwa 100 bis 300 Fuß über See und die Temperatur schwankt von -6^0 C bis zu $+45^0$ C.

Besondere Schwierigkeit bei der technischen Ausführung bot nur die Behandlung der großen Triebsandmengen, welche der Coloradofluß mit sich schleppte. Das Gefälle des Flusses oberhalb des Lagunadammes beträgt etwa 1 Fuß pro Meile. Das Staubecken ist etwa 10 Meilen lang.

6. Das Orland-Projekt in Kalifornien.

Ungefähr 90 englische Meilen nördlich von Sacramento liegen 14000 Acres bewässerbares Land, zu dessen Nutzbarmachung das Orland-Projekt unternommen ist. Der Boden besteht aus einem sandigen Lehm, und man hat unter den günstigen Bedingungen des kalifornischen Klimas durch Bewässerungen in kleinem Maßstabe zeigen können, daß er sich ausgezeichnet zum Anbau von Luzerne und von Nußbäumen eignet, aber auch zur Kultur von Zitronen. Die allgemeine Höhenlage dieser 14000 Acres reicht von 175 bis zu 380 Fuß über dem Meeresspiegel des Stillen Ozeans; die Temperatur schwankt zwischen -3^0 und $+49^0$ C und die mittlere jährliche Regenmenge beträgt 17 Zoll. Dieses Land bedarf somit zu einer ausreichenden Bewässerung 3 bis $3^1/_2$ Acrefeet jährlich. Das Wassereinzugsgebiet, welches für diese zu bewässernde Fläche in Betracht kommt, umfaßt 790 Quadratmeilen, die jährlich etwa 25 Zoll Regen erhalten und schätzungsweise eine Wassermenge von 543000 Acrefeet liefern.

Das technische Hauptbauwerk beim Orland-Projekt ist ein großes Staubecken, dessen Damm in Beton aufgeführt ist.. Dieser East Park-Damm des Orland-Projekt liegt am Stony Creek, etwa 40 Meilen oberhalb des Ortes Oreland in einer für den Bau durch natürliche Bodenbildung sehr günstig gewählten Stelle. Ein bei Miller Buttes gelegener Verteilungsdamm leitet das aufgestaute Wasser in zwei Kanäle, die rechts und links des Stony Creeks verlaufen und die Ländereien in der Umgebung von Orland bewässern sollen. Der Staudamm besteht aus rauhem Betonmauerwerk, ist vom felsigen Untergrund ab gerechnet 139 Fuß hoch, besitzt 60 Fuß Basislänge und 250 Fuß obere Länge. Das Gesamtnetz der verschiedenen Bewässerungskanäle umfaßt 25 Meilen Hauptkanal und 80 Meilen Seitenkanäle. Ein Wasserbezugsrecht wird nur für Farmer bis zu 160 Acres zugestanden, und größere Farmbesitze müssen deshalb ihren Landüberschuß an neu zuziehende Farmer, die sich ernstlich hier ansiedeln wollen, abtreten.

7. Das Grand Valley-Projekt in Colorado.

Dieses neuere Unternehmen wurde geschaffen, um etwa 53000 Acres Land in der Grafschaft Mesa im Staate Colorado zu bewässern. Auch hier mußte ein Verteilungsdamm gebaut werden, er wurde bei Grand River errichtet. Ferner umfaßt der Entwurf ungefähr 60 Meilen Hauptkanal mit einer Reihe von kurzen Tunnels, die in einer Gesamtlänge von einigen 20000 Fuß an den Anfängen der Kanäle erforderlich waren. Es wird für wahrscheinlich gehalten, daß eine beträchtliche Kraftmenge beim Einlauf des Wassers in die Kanäle gewonnen werden kann, die man benutzen will, um Wasser auf diejenigen Landflächen zu pumpen, welche höher als der Hauptkanal liegen. Die mittlere Höhenlage des zu bewässernden Gebietes ist 4700 Fuß oberhalb des Meeresspiegels, also eine recht ansehnliche Höhe. Die Temperatur

liegt zwischen — 26° und + 38° C; das Wassereinzugsgebiet ist 8550 Quadratmeilen groß, die jährliche Regenmenge in dem Bewässerungsgebiet liegt bei 6 bis 11 Zoll.

Der Boden ist hauptsächlich sogenannter roter Mesasand, dazu schwarzerdiger sandiger Lehm und teilweise auch Ziegellehm. Berühmt ob seiner Fruchtbarkeit ist der Boden der Apfel- und Pfirsichgärten in Grand Valley, welcher oft genug Ernten von mehr als 1000 $ Ertrag pro Acre im Jahre trägt. Luzerne und Zuckerrüben gedeihen gleichfalls gut, ebenso Kartoffeln, verschiedene Gemüsearten, Erdbeeren und Melonen.

8. Die Uncompahgre-Anlage in Colorado.

Diese Anlage hat den Zweck, zur Bewässerung einer Fläche von 150000 Acres im Uncompahgre-Tal im südwestlichen Colorado zu dienen. Das zu bewässernde Land liegt innerhalb der Grafschaften Montrose und Delta, in einer Höhe von 5000 bis 6400 Fuß über dem Meere und mit einer Jahrestemperatur von — 29° bis + 37° C. Das Wassereinzugsgebiet umfaßt 4350 Quadratmeilen und man schätzt auf Grund von Berechnungen den jährlichen Wasserabfluß dieses Gebietes auf 1610000 Acrefeet. Die jährliche Regenmenge innerhalb der zu bewässernden Ländereien schwankt zwischen 6 und 12 Zoll, die Regenmenge im ganzen Wassereinzugsgebiet zwischen 7 und 20 Zoll. Das Land, welches heute schon bewässert werden kann, befindet sich überwiegend in Privathänden, und die einzelnen Farmengrößen messen 40 bis 80 Acres mit einem durchschnittlichen Wasserbedarf von 4 Acrefeet jährlich. Ungefähr 60000 Acres sind zur Anlage von Obstgärten geeignet, die hier in Talniederungen Ernten bis zu 500 $ pro Acre erbringen. Weitere 80 bis 90000 Acres eignen sich zum Anbau von Zuckerrüben und zu Luzernefeldern.

Das Projekt zur Bewässerung des Uncompahgre-Tales bei Montrose wurde Anfang 1905, nachdem zweijährige Vorarbeiten vorangegangen waren, in Angriff genommen. Der Uncompahgre-Fluß, der in langsamem Lauf eine öde Prärie durchzieht, um sich nördlich von Montrose in den Gunnison-Fluß zu ergießen, ist so wasserarm, daß er nur Strecken von unbedeutender Größe zu bewässern vermag. Etwa 30 km östlich, durch einen Höhenzug vom Montrosetale getrennt, strömt der wasserreiche Gunnison durch ein von steilen Bergen eingefaßtes Tal. Das staatliche Projekt mußte demgemäß von Anfang an darauf gerichtet sein, zur Bewässerung des Tales bei Montrose die Wassermenge des Gunnison teilweise mit heranzuziehen. Hierzu dient eine von Nordosten nach Südwesten durch die Berge getriebene Tunnelanlage. Bei der Schwierigkeit gerade des Baues dieser Uncompahgre-Anlage mit ihren Tunnels und vielverzweigten Seitenkanälen in stark zerschnittenem Gelände wurde die Leitung einem jungen, aber als sehr tüchtig anerkannten Ingenieur J. W. M. Connel übertragen, dem man ad hoc das Amt eines Chefingenieurs für die Bewässerungsunternehmungen in Colorado, Kansas, Oklohama, Nebraska, Südost-Wyoming und Süd-Dakota übertrug.

Während man ursprünglich die Gesamtkosten des Werkes auf $2^1/_2$ Mill. Dollar berechnen zu dürfen glaubte, stellte sich beim Bau schon bald heraus, daß diese Summe keinesfalls genügen, sondern jedenfalls 4 Mill. Dollar noch übersteigen würde. Auf den besseren Landstrichen des zu bewässernden Gebiets will man die bislang hier übliche Farmgröße von 40 bis 80 Acres auch für das Regierungsland beibehalten, aber für die wegen ihrer Höhenlage weniger zur Bewässerung geeigneten Striche will man Farmeinheiten von 120 bis 160 Acres schaffen.

Die Kosten, welche für den Wasserbezug zu zahlen sein werden und deren Leistung sich auch hier wieder auf zehn Jahre verteilt, wie dies bei allen Regierungsunternehmen, die zu Bewässerungszwecken durchgeführt werden, üblich ist, sind insgesamt auf 30 bis 35 $ pro Acre veranschlagt, wobei man mit einer Wertsteigerung des bewässerten Landes bis zu 200 $ und mehr auf den Acre glaubt rechnen zu sollen.

Das zu bewässernde Land hat im allgemeinen einen strengen, gipshaltigen Tonboden, Adobe genannt, der eine Bewässerung von jährlich 3 Fuß Höhe benötigen wird.

Der Tunnel, welcher einen bedeutenden Höhenzug durchbricht, erreicht eine Länge von rd. 6 englischen Meilen. Zuerst hatte man diesen Bau einer Privatgesellschaft übertragen, doch sah sich die Regierung infolge entstandener Unzuträglichkeiten veranlaßt, im Mai 1905 die Arbeit selbst zu übernehmen. Am Tunneleingang ist zur Regelung der abfließenden Wassermenge eine Schleusenanlage vorgesehen. Der Tunnel ist $12^1/_2$ Fuß hoch und 10 Fuß weit; beim Bau ergab sich, daß er statt der veranschlagten Kosten von 1 Mill. Dollar deren wohl rd. 3 Millionen erfordern würde. Die am oberen Tunnelende vorüberfließende Wassermenge des Gunnison-Flusses beträgt durchschnittlich 25000 Kubikfuß in der Sekunde; der Tunnel soll sekundlich 1300 Kubikfuß Wasser im Mittel aufnehmen. Da das Wasser des Gunnison klar ist, so sind nennenswerte Ablagerungen von Sand oder sonstigen Sinkstoffen im Tunnel nicht zu befürchten. Die Tunnelwände werden mit Kiefernholz, Yellow Pine, aufgezimmert, dessen man pro Fuß Tunnelwand durchschnittlich 300 Fuß bedarf unter Einrechnung desjenigen Holzes, welches zur Packung zwischen den Holzwänden und der Felswandung erforderlich ist. Das Holz wurde mit einer etwa 12 Zoll dicken Schicht von Beton, der im Tunnel selbst in rotierendem Zylinder gemischt wurde, überzogen. Zuerst bezog man den Zement aus Kansas, später aus der staatlichen Zementfabrik in Portland (Colorado). Insgesamt wurden etwa 100000 Faß Zement (zu je 380 ℔.) gebraucht. Zur Luftzuführung in den Tunnel mußten zwei Luftschächte von 300 und 700 Fuß Höhe hergestellt werden. Überhaupt waren die technischen Schwierigkeiten, welche beim Bau dieses Tunnels zu überwinden waren, recht bedeutende, zumal vielfach Naturgasquellen und unterirdische Wasserläufe durchschnitten wurden und dann sachgemäß abzudichten waren; dazu kam dann noch, daß man mit einem sehr starken Wasserdruck während des Betriebes des Tunnelkanals rechnen mußte.

Da die westliche Mündung des Tunnels in beträchtlicher Höhe über dem zu bewässernden Tale liegt, so kann die sachgemäße Verteilung des Berieselungswassers ohne besondere Schwierigkeiten erfolgen. Man hat verschiedene größere Verteilungskanäle gebaut, von welchem dann die einzelnen Seitenarme ausgehen. So führt der Ende 1907 beendete South Canal in südwestlicher Richtung in den Uncompahgre-Fluß, ist zehn Fuß tief, an 19 km lang und durchweg mit Beton bekleidet. Allein dieser Kanal kostete über 700000 $. Da der Wasserzufluß nach Anzapfung des wasserreichen Gunnison-Flusses zur Bewässerung der vorgesehenen Landfläche genügen wird, so kam bei dem Uncompahgre-Unter-

nehmen ein Staubecken nicht zur Anwendung. Man hat aber trotzdem eine Stauanlage oberhalb des Tunnels im Strombette des Gunnison in Aussicht genommen, wenn die Wassermenge nicht ausreicht, oder wenn später mehr Ackerland bewässert werden soll.

Die Fortsetzung des „South Canal“ über den Uncompahgre-Fluß hinaus mit etwa der Hälfte der ursprünglichen Wassermenge bildet der in nordwestlicher Richtung führende „West Canal“, der gleich dem auf der rechten Seite des Uncompahgre laufenden „East Canal“ eine Länge von 30 Meilen besitzt. Die Kosten der beiden letztgenannten Kanäle hatte man beim Entwurf zu je $^1/_2$ Mill. Dollar berechnet.

Beim Bau des Uncompahgre-Unternehmens wurden jeweils 600 bis 800 Arbeiter beschäftigt, unter denen Italiener und Österreicher stark vertreten waren. Der durchschnittliche Lohn bei 8 Stunden Arbeitszeit betrug 2,75 bis 3 \$. Die Regierung hatte hier auf der Hochfläche von Montrose eine umfassende Fürsorge für das Wohl der Arbeiter treffen müssen, da doch das Land bis 6400 Fuß Meereshöhe aufweist. Nächst der Tunnelmündung hatte man bei Lujane Arbeiterhäuser für die unverheirateten Arbeiter gebaut, die für 200 Mann eingerichtet waren, wobei je zwei Personen einen Raum bewohnten. Jedes Haus hatte Brauseeinrichtungen. Für Wohnung und Verpflegung zahlten die Arbeiter täglich 75 Cents, einen Betrag, den die Regierung fast völlig für die Kosten der Verpflegung allein aufbrauchte. Ferner wurde eine Reihe von Familienhäusern mit je zwei Räumen gebaut, die zu 8 \$ monatlich vermietet wurden. Endlich hatte auch die Regierung noch ein Krankenhaus an Ort und Stelle errichtet und erhob an Krankengeld von den einzelnen Arbeitern, wie üblich, 1 \$ monatlich. Bei der Gefährlichkeit der Arbeiten im Tunnel wollten amerikanische Versicherungsgesellschaften die Versicherung der Arbeiter nicht übernehmen. Ein Schulhaus für 65 Kinder wurde errichtet und in einem neuerbauten Warenhaus Lebensmittel usw. zum Selbstkostenpreise abgegeben.

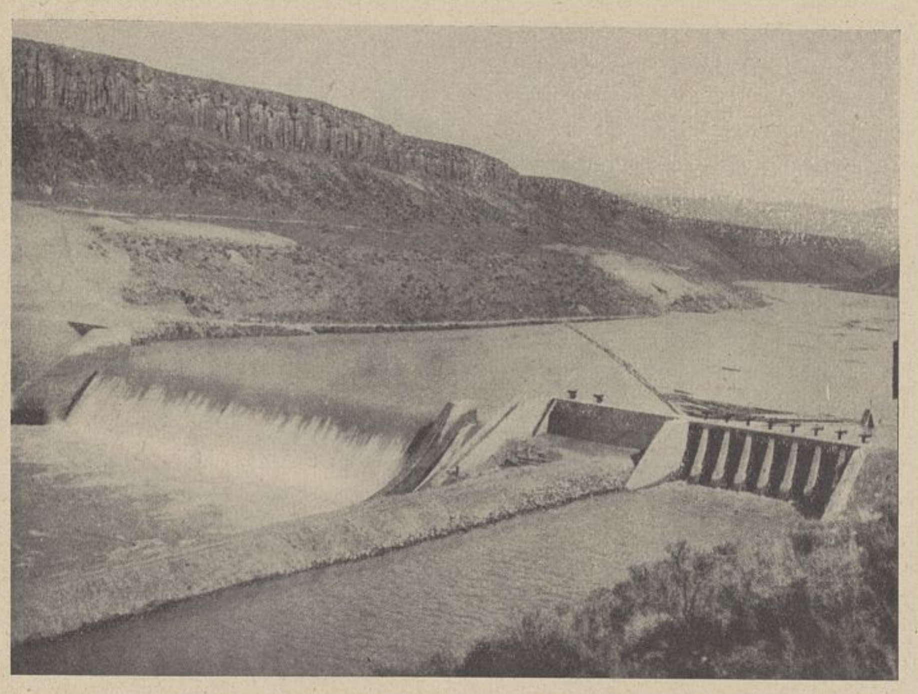
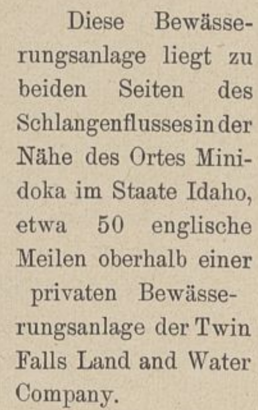


Abb. 12. Der Verteilungsdamm am Boisefluß in Idaho.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich den Bericht unseres deutschen Konsuls zu Denver erwähnen, der vor ungefähr zehn Jahren die gesamte Uncompahgre-Anlage während der Bauzeit besichtigen konnte und überrascht war, wie vortrefflich das Speisehaus für die Arbeiter gehalten war und wie Küche und Vorratsräume einen ziemlich sauberen Eindruck machten. Der Konsul hatte Gelegenheit, einem Abendessen beizuwohnen und zwar die normale Abendmahlzeit in dem 200 Personen umfassenden Speisesaal, an der er mit den Ingenieuren, mitten unter den Arbeitern sitzend, teilnahm. Das Essen war nach deutschen Begriffen auffallend reichlich und sehr gut; es gab Suppe, Fleisch, zweierlei Gemüse, Kartoffeln, Pudding und Kuchen, als Getränke kalten Tee und Milch. Fleisch wurde zu allen drei Mahlzeiten gegeben. Das Mittagessen nahmen die Arbeiter in Blechgefäßen morgens schon mit und sie erhielten dazu sorgfältig in Papier gewickelte Äpfel. — Das alles schaffte nun die Regierung in den öden, weit vom Verkehr abgelegenen Landstrichen unter Aufwand reichlicher Kosten. Aber die Arbeiter nahmen diese Annehmlichkeiten sehr bald als etwas Selbstverständliches hin und Beschwerden, die von ihrer Unzufriedenheit zeugten, sollen häufig gewesen sein.

9. Die Minidoka-Anlage in Idaho.



Diese Bewässerungsanlage liegt zu beiden Seiten des Schlangenflusses in der Nähe des Ortes Minidoka im Staate Idaho, etwa 50 englische Meilen oberhalb einer privaten Bewässerungsanlage der Twin Falls Land and Water Company.

Bei der Anlage des Minidokawerkes war zu berücksichtigen, daß das Wasser des Schlangenflusses sowohl oberhalb, als unterhalb des Staatswerkes durch private Bewässerungsanlagen bereits in Anspruch genommen war, und daß der normale Wasserzufluß während der Bewässerungszeit zur Berieselung sämtlicher Anlagen nicht völlig ausreichte. Es war daher für die Regierung bei Inangriffnahme des Minidokawerkes vor allem erforderlich, ein Staubecken zu bauen. Dieses Staubecken war schon 1907 fertiggestellt und imstande, die von dem Werk zu bewässernden Ländereien, insgesamt 130000 Acres, während der Sommermonate mit 2000 Kubikfuß Wasser in der Sekunde zu versorgen.

Die Gesamtkosten des Minidokawerkes nach Fertigstellung des dazu gehörigen weit ausgebauten Kanalsystems wurden zu $2^1/_2$ Mill. Dollar angesetzt. Die von dem Werk zu bewässernden Ländereien sind ebenso wie das Land der Twin Falls-Gesellschaft äußerst fruchtbar. Im Jahre 1907 schätzte man bereits ihren durchschnittlichen Wert für den Acre auf 100 \$, während das Land vor der Inangriffnahme des Minidoka-Projektes zum Preise von 1 bis 5 \$ pro Acre zu kaufen war.

Die amerikanische Regierung hat die von dem Minidokawerk bewässerten Ländereien in Farmeinheiten von je 80 Acres aufgeteilt, jedoch von nur 40 Acres in der unmittelbaren Nähe von Minidoka und zwei anderen Ortschaften. Das

Land war so schnell vergriffen, daß teilweise schon eine zu starke Besetzung sich einstellte. Nach dem Besiedlungsplan der Regierung sollten etwa 1700 bis 1900 Familien Wohnstätten und Grundbesitz auf den Minidoka-Ländereien erhalten, es ist indessen schon gleichzeitig in Aussicht genommen worden, die Farmeinheiten später durchweg auf 40 Acres zu verringern, da hier selbst ein noch kleineres Areal als 40 Acres bei der Ergiebigkeit des Bodens zum Unterhalt einer Familie vollauf genügt. Bei einer Beschränkung der Farmengröße auf nur 40 Acres werden dann insgesamt 30000 Personen auf dem bewässerungsfähigen Gebiete um Minidoka herum ihren Lebensunterhalt finden können. Im Falle einer besonders intensiven Gestaltung der Farmwirtschaft, insbesondere im Falle des Anbaus von Zuckerrüben, wird eine weitere Reduktion der Farmgrößen bis herab auf 20 Acres und eine entsprechend noch stärkere Besiedelung der fraglichen Ländereien möglich sein. Natürlich kann die amerikanische Regierung eine derartige Beschneidung der Farmen nur solange vornehmen, als die Ansiedler noch nicht volle Eigentümer der ihnen überlassenen Ländereien geworden sind.

Das Minidoka-Projekt kam mit einigen kleinen Abänderungen, die sich während des Baues von selbst als notwendig ergaben, zur Ausführung und umfaßt 76700 Acres Land, die nach dem Berieselungsverfahren bewässert werden, und 48000 Acres, die gepumptes Wasser erhalten. Das Werk umfaßt einen Staudamm am Schlangenfluß etwa 6 Meilen südlich von Minidoka, von dem zwei Zuleiterkanäle auf jedem Flußufer ihren Anfang nehmen.

Am Staudamm wurde eine elektrische Kraftstation erbaut, mit deren Strom das Wasser auf das hochliegende Land an der Südseite des Schlangenflusses gepumpt wird. Der Staudamm besitzt eine Höhe von 86 und eine Länge von 736 Fuß, er besteht aus einem starken, mit Felsbrocken hinterfüllten Erddamm. Das Verteilungssystem umfaßt 513 Meilen Kanäle.

Der Boden im südlichen Idaho besteht aus sandigem Lehm und vulkanischer Asche, und ist jedenfalls bei genügender Bewässerung außergewöhnlich fruchtbar. Das bewässerte Gebiet liegt 4200 Fuß über dem Meeresspiegel, das Wassereinzugsgebiet umfaßt etwa 22600 Quadratmeilen mit einem jährlichen Abfluß von rund 8 Millionen Acrefeet und einer mittleren jährlichen Regenmenge von 14 Zoll. Die Kosten des Wasserbezugsrechts stellen sich bei der Minidoka-Anlage auf 22 bis 30 $ pro Acre, zahlbar wie üblich binnen zehn Jahren, außerdem für Unterhaltung und Betrieb 75 Cents pro Acre bei den Berieselungsfeldern. Für die Felder, welche mit Pumpwasser bewässert werden, ist eine Gebühr für den Wasserbezug noch nicht festgelegt worden.

10. Die Payette-Boise-Bewässerung.

Ebenfalls im südlichen Teile von Idaho ist das großangelegte Boise-Unternehmen geplant, nach dessen Vollendung ungefähr 243000 Acres im südwestlichen Teil des Landes und ungefähr 79000 Acres sehr fruchtbares Land in den Tälern des Boise- und Schlangenflusses bewässert werden können. Auch bei diesem Unternehmen handelt es sich um die Anlage von Staubecken; die gesamten Baukosten sind auf 7,8 bis 8 Mill. Dollar veranschlagt. Im Durchschnitt liegt das Land 2500 Fuß über dem Meeresspiegel und die Temperatur schwankt zwischen — 33° und + 42° C. Allerdings fällt die Temperatur nur selten auf — 18° C und die Wintermonate sind zudem meistens frei von Winden. Die Sommerzeit ist lang, warm und bringt vielen Sonnenschein, so daß hier die Bewässerung jedenfalls glänzende Ernten hervorbringen wird. Der Boden ist in hohem Maße vulkanischen Ursprungs, aber frei von Felsblöcken, leicht zu bearbeiten und reichhaltig an den zum Pflanzenaufbau nötigen Mineralsalzen. Gutgehaltene Farmen in diesem Gebiete haben schon vor der Bewässerung reichliche Ernteerträge erzielt. Land für Weiden, für Obstgärten und Zuckerrübenbau ist in großem Umfange hier vorhanden.

An Staubecken werden am Boiseflusse mehrere gebaut. Ein Verteilungsdamm ist am Boisefluß 8 Meilen oberhalb des Ortes Boise errichtet worden, derselbe liefert einmal Wasser in einen Bewässerungskanal, dann auch für das Deer Flat-Staubecken in der Nachbarschaft des Ortes Nampa, dessen Fassungsvermögen 186000 Acrefeet beträgt. Der Damm ist aus Abb. 12 ersichtlich. Das Wassereinzugsgebiet des Boise Rivers ist ungefähr 2610 Quadratmeilen groß mit einer jährlichen mittleren Niederschlagsmenge von 25 Zoll und einem rechnungsmäßig sich ergebenden Abfluß von jährlich 2190000 Acrefeet. Die jährliche Regenmenge in dem zu bewässernden Gebiet beträgt 12,7 Zoll, also nur die Hälfte.

11. Garden City in Kansas.

Dieses Unternehmen bezweckt die Gewinnung von Grundwasser im Arkansas-Tale in der Umgebung von Garden City durch ein Pumpensystem und Verteilung des Wassers durch einen bereits vorhandenen Kanal, den Farmergraben. Die ganze Anlage besteht aus einer Reihe von Pumpstationen, die ihr Wasser an einzelne Betonkanäle oder Überlandkanäle abgeben, von wo aus es dann in den Hauptbewässerungskanal fließt. Man hat 23 solcher Pumpstationen erbaut, die von einer Zentralkraftstation aus elektrisch angetrieben werden. Das Wasser erreicht den Farmergraben etwa eine Meile oberhalb der Hauptschleuse. Die Kraftzentrale liegt ziemlich inmitten der 23 Pumpstationen.

An bewässerbarem Land liegen 10677 Acres in der Umgebung von Garden City auf der Nordseite des Arkansasflusses. Der Boden besteht aus fruchtbarem Prärielehm, der zu sehr hoher Kultur geeignet ist und besonders Getreide, Zuckerrüben, Melonen, Luzerne sowie andere Ernten des Prärieflachlandes trägt. Die durchschnittliche Höhenlage des Gebietes beträgt 2925 Fuß über dem Meere und die Temperatur schwankt zwischen — 29° und + 41° C. Der geologische Aufbau des Landes ist vorzüglich zur Aufspeicherung des fallenden Regens geeignet, und der Kies im Untergrund bildet eine natürliche Entwässerung nach dem Arkansas-Tale. Der Boden ist so leicht und wasserdurchlässig, daß er allen auffallenden Regen sofort verschluckt, soweit die Feuchtigkeit nicht von der Vegetation oder durch Verdunstung verbraucht wird. Die gesamte Pumpenanlage ist so entworfen, daß durchschnittlich 100 Sekundenfuß Grundwasser auf die Dauer von 150 Tagen gehoben werden können, was genügt, um 30000 Acrefeet in der Wachstumszeit zu liefern. Ein Teil des Wassers wird unter dem

Arkansasflusse mittels eines Dückers von 800 Fuß Länge und einer Leistungsfähigkeit von 100 Sekundenfuß durchgeleitet. Die halbtrockene Zone des westlichen Arkansas erfordert nur eine verhältnismäßig geringe Menge Berieselungswasser, da der jährliche Regenfall und die Güte des Bodens beträchtlich sind. Das Wasserbezugsrecht stellt sich hier auf 37,50 $ pro Acre zu berieselnden Landes, wozu die Farmer noch für Betrieb und Unterhaltungskosten der Pumpen und Kanäle 2,75 $ pro Acre zahlen. Der Wert des Landes vor Bau dieses Bewässerungswerkes betrug im Arkansas-Tale 5 bis 10 $ pro Acre, heute aber zwischen 100 und 150 $. Da der Boden besonders zum Zuckerrübenanbau geeignet ist, so entstanden bald mehrere Zuckerfabriken in der Umgebung von Garden City, die sich guter Wasserverbindung mit ihren Absatzmärkten erfreuen. Jenseits der bewässerten Zone liegen weitausgedehnte Striche vorzüglichen Weidelandes, welches ohne Bewässerung reichlich Futtermittel und Zuckerrohr trägt. Im Sommer 1907 wurden die ersten 5000 Acres Land bei Garden City berieselt, doch ist die Regierung, wie aus ihren späteren Berichten hervorgeht, nicht recht zufrieden mit dem finanziellen Ertrag des ganzen Werks, da merkwürdigerweise die Farmer nur sehr sparsamen Gebrauch von dem gerade hier doch recht reichlich vorhandenen Berieselungswasser machen. Vielleicht ist der Preis von 37,50 $ pro Acre für das Wasserbezugsrecht ein zu hoher.

12. Bewässerungsanlagen im Staate Montana.

In diesem Staate hat die amerikanische Regierung eine größere Zahl von Entwürfen zur Durchführung gebracht, nämlich das Blackfeet-Projekt, Flathead-Projekt, Huntley-Projekt, Milk River-Projekt, Sun River-Projekt und dann noch vom Staate Montana hinübergreifend nach Nord-Dakota das Lower Yellowstone-Projekt.

a) Das Blackfeet-Projekt wurde entworfen, um rund 50000 Acres Land in der Niederlassung der Schwarzfußindianer und ferner noch 133000 Acres mittels fünf vorgesehenen Kanälen zu bewässern. Der erste Teil des Projekts umfaßt die Gewinnung des Berieselungswassers vom linken Ufer des Two Medecine-Flusses, unmittelbar unterhalb seines Zusammenflusses mit dem Little Badger Creek, und dessen Fortleitung auf Ländereien im östlichen Teile der Indianerreservation, ostwärts der Stadt Cut Bank, die ungefähr 3850 Fuß hoch liegt und Jahrestemperatur von — 40° bis + 38° C hat. Der Boden ist sandiger Lehm. Der durchschnittliche Regenfall beträgt 16 Zoll im Jahr, ist aber sehr wesentlichen Schwankungen unterworfen. Ohne Bewässerung ist nur etwas Getreide und Heu zu gewinnen, der Rest ist Weideland. Der Hauptzuleiter und ein Teil des Verteilungskanalsystems des Two Medecine-Abschnittes sind zuerst in Angriff genommen worden.

b) Das Flathead-Projekt will ebenfalls Land auf Indianergebiet bewässern und darüber hinaus dann noch solche Ländereien, die als Farmland zur Ansiedlung für Weiße später freigegeben werden. Man will hier durch acht Hauptkanäle und verschiedene kleinere Kanalsysteme nicht weniger als 150000 Acres bewässern. Das Gesamtprojekt ist auch hier, ebenso wie bei vielen anderen Regierungsentwürfen, in mehrere Unterabschnitte zerlegt, von denen zunächst drei in Angriff genommen wurden, nämlich die Jocko-Einheit, welche 6000 Acres bewässern wird, die Polson-Einheit für 3000 Acres und die Mission-Einheit für 6000 Acres. Die Bewässerungskanäle für den Jocko-Nordseite-Abschnitt waren 1910 bereits fertiggestellt und auch für fernere 2000 Acres vom Jocko-Südseite-Abschnitt. Die Kanäle für die Mission-Einheit sind ebenfalls schon erbaut. Die Zuweisung von bewässerbarem Land an die Indianer wurde dann sofort vorgenommen; alles Land, welches dann noch übrig blieb und bewässerungsfähig gemacht werden konnte, wurde dann für die Einwanderung weißer Farmer freigegeben. Die durchschnittliche Höhenlage des neuen Farmlandes beträgt etwa 2800 Fuß über dem Meere und die Temperatur reicht von — 32° bis + 36° C. Der Boden besteht aus Ton, Waldbodenlehm und kieshaltigem Lehm; er trägt ohne Bewässerung Gras und Roggen sowie Obstarten. Die Ernten sind jedoch durch die Berieselung stark zu erhöhen, da die jährliche Regenmenge im Gebiete des Flathead-Projekts knapp 15 Zoll beträgt. Bei Bewässerungsversuchen trug der Boden reichliche Mengen Klee, alle Arten von Getreide, viele Gemüse und Obstarten, soweit diese eben in der Höhenlage von 2800 Fuß überhaupt noch erwartet werden dürfen.

c) Das Huntley-Projekt. Diese Anlage bezweckt die Bewässerung von rund 30000 Acres Land entlang dem Südufer des Yellowstone-Flusses im südöstlichen Montana, die früher einen Teil des von der Crow Indianer-Reservation abgetretenen Landstrichs bildeten. Das Gebiet liegt zwischen der Station Huntley, an dem Schnittpunkt der Nord Pacifik-Eisenbahn mit der Chicago-, Burlington- und Quincy-Bahn und der Station Bull Mountain an der Nord Pacifik-Eisenbahn, besitzt demnach sehr günstige Transportmöglichkeiten durch diese zwei Bahnverbindungen. Die Abtretung des Landstrichs der Indianer-Reservation, der für das Huntley-Projekt nötig ist, wurde am 27. April 1904 durch den Kongreß „genehmigt". Neue Ansiedler zahlen 4 $ für den Acre an die Indianer, und zwar 1 $ bei der Landübernahme und 75 Cents jährlich auf die Dauer von vier Jahren, beginnend mit dem zweiten Erntejahre. Außerdem belastet die Regierung noch die Ansiedler mit den Kosten der Bewässerungsanlage, die sich für den Acre auf 30 $ bemessen und binnen zehn Jahren in Beträgen von je 3 $ zu entrichten sind. Für Unterhaltung und Betriebskosten der Huntley-Anlage werden dann von jedem Farmer noch jährlich 60 Cents auf den Acre erhoben. Der Bau des Huntley-Projektes wurde am 18. April 1905 von der Regierung angeordnet und zwei Jahre später waren bereits fast zwei Drittel der Anlage geschaffen.

Ein besonderes Werk stellt die Pumpstation bei Ballantine dar, welche als Betriebskraft die Energie von $33^1/_2$ Fuß Gefälle des Hauptkanals benutzt, um 56 Kubikfuß Wasser pro Sekunde in einen 50 Fuß höher liegenden zweiten Kanal zu heben. Der Hauptkanal besitzt eine Länge von rund 32 Meilen, während der hochliegende zweite Kanal ungefähr 7 Meilen lang ist. Beide Kanäle sind derart gelegt, daß sie später, wenn die Nachfrage noch mehr bewässertes Land erfordern sollte, bequem verlängert werden können. Die ganze Anlage wurde schon während der Bauzeit mit einem ausgedehnten Fernsprechnetz versehen.

Die Höhenlage des Gebiets beträgt 3000 Fuß über dem Meere, das Klima ist mild, die Temperatur liegt zwischen

— 37° und + 38° C und die jährlich hier niedergehende Regenmenge beträgt 9 bis 15 Zoll. Der Boden des Geländes besteht aus hellfarbigem sandigem Lehm bis zu schwerem Ton, stellenweise ist er mit Alkalien durchsetzt, doch hat man das Eindringen dieser Salze in den guten Farmboden dadurch verhindert, daß man in geeigneter Linienführung Abflußgräben zog. In Erwartung guter Zuckerrübenernten hat man dreizehn Meilen westlich von Huntley gleich eine neue Zuckerfabrik erbaut. Die Farmgröße ist hier seitens der Regierung auf 40 bis 160 Acres bemessen, je nach der Lage der Farm, doch werden durchschnittlich nur 40 Acres bewässerbares Land zugeteilt. Der Preis für solches bewässertes Land kostet je nach der Bodenbeschaffenheit und dem Ernteerträgnis 75 bis 200 $ pro Acre.

Die technische Anlage des Huntley-Projekts besteht zunächst aus einem weit verzweigten Kanalsystem von 268,5 Meilen Länge, welches Wasser auf jede einzelne Farm liefern kann. Die Hauptbauten, Ein- und Auslaßschleusen, Gebäude u. a. bestehen aus Eisenbeton, und die drei Tunnels, welche zur Wasserführung notwendig waren, sind in Zement ausgeführt; ihre Länge beträgt 2654 Fuß. Die Pumpstation bei Ballantine ist mit Vertikalturbinen und Zentrifugalpumpen ausgestattet, die in einem einzigen Schacht eingebaut sind und nahezu völlig automatisch arbeiten.

d) Das Milk River-Projekt. Durch diese Anlage werden 248000 Acres Land durch Bewässerung der Kultur erschlossen. Das Gelände liegt im Milchflußtal zwischen Chinook bzw. Havre und Glasgow, in den Grafschaften Chouteau und Valley; etwa die Hälfte davon ist Regierungsland. Die mittlere Höhenlage ist 2200 Fuß und die Temperatur schwankt im Jahre von — 43° bis + 38° C. Der Boden ist recht ertragfähig, soweit er dies bei seiner nördlichen Klimalage überhaupt sein kann. Das Wasser des Milchflusses wird durch einen Staudamm bei Dodson in zwei Hauptzuleiter geleitet, je einer auf jedem Ufer des Flusses. Der südliche Kanal vermag ungefähr 10 000 Acres zu bewässern, die sich von Dodson bis zum Nelson-See-Reservoir erstrecken. Von hier aus will man einen weiteren Kanal bauen, der das Land in der Richtung auf den Ort Glasgow bewässern soll.

Neben der Wasserentnahme aus dem Milk River beabsichtigt man noch Wasser aus den St. Mary-Seen zu entnehmen. Das Wasser im St. Mary-Becken soll aufgestaut und dann durch einen 25 Meilen langen Kanal über die Wasserscheide hinüber zum Oberlauf des Milchflusses geleitet werden. Diese Wasserzuführung bedingt an technischen Arbeiten einen Staudamm und mehrere Verteilungsdämme; weiterhin einen 375 Meilen langen Hauptkanal und endlich noch ein ausgedehntes Netz von Verteilungskanälen nach den einzelnen Farmen. Der 25 Meilen lange Kanal von St. Mary Lakes zum Milk River wurde im Sommer 1906 begonnen und seine Leistung auf 1000 Kubikfuß Wasser je Sekunde festgesetzt. Ein Teil des zu bewässernden Landes soll an die hier wohnenden Schwarzfußindianer abgegeben werden.

e) Das Sun River-Projekt. Das durch diese Anlage zu bewässernde Land liegt ungefähr 25 Meilen von Great Falls entfernt. Das Sun River-Tal ist ungefähr 70 Meilen lang und besitzt 1 bis 5 Meilen Breite. Die Anlage ist derart bemessen, daß insgesamt 276000 Acres Land bewässsert werden können. Ein großer Teil des zu bewässernden Landes ist Eigentum der Regierung, es handelt sich um breit ausgedehntes Prärieland vom Tentonfluß im Norden bis zum Sun River-Tal im Süden. Der bewässerbare Streifen ist 70 Meilen lang und 30 Meilen breit. Einen geschlossenen Landkomplex von rund 16000 Acres an dem Südufer des Sun River hat man, als Fort Shaw Unit, für die sofortige erste Ansiedlung freigegeben.

Im allgemeinen liegt das Bewässerungsgebiet 3700 Fuß über dem Meere und zeigt Temperaturen von — 40° bis + 38° C. Es ist reichlich Grasland vorhanden, und die Farmgrößen sollen auf 40 bis 160 Acres derart bemessen werden, daß möglichst jede einzelne Farm Weideland zugeteilt erhält.

Das Wassereinzugsgebiet umfaßt 850 Quadratmeilen vom Sun River her und 290 Quadratmeilen vom Deep Creek mit einem jährlichen gesamten Abfluß von 700000 Acrefeet. Die mittlere jährliche Regenmenge beträgt im Bewässerungsgebiet nur 12 Zoll. Farmer, welche hier auf Grund des amerikanischen Heimstättengesetzes angesiedelt werden, haben für das ihnen zugeteilte Wasserbezugsrecht 30 $ pro Acre in zehn Jahresraten zu entrichten. Die Betriebs- und Unterhaltungskosten der Anlagen, soweit solche bereits fertiggestellt sind, bemessen sich vorläufig auf 50 Cents für den Acre und Jahr. Eine interessante Neuerung bei dem Sun River-Projekt ist der Gedanke, alle sechs Meilen ein Dorf anzulegen. In Verbindung mit dem zur Besiedlung bereits freigegebenen Landstrich von 16000 Acres auf dem südlichen Ufer des Sun River, der Fort Shaw Unit, hat man bereits zwei neue Dörfer gegründet. Zur Bewässerung zog man zuerst die ungeregelten Fluten des Sun River heran, die reichliche Mengen Wasser bringen; zugleich ging man an den Bau eines Stauwerkes am Willow Creek. Dieses Staubecken faßt 20000 Acrefeet Wasser, und das Einzugsgebiet des Willow Creek genügt, um diese Wassermenge zu beschaffen. Der Boden der Fort Shaw Unit ist derart fruchtbar, daß man sich hier auf recht kleine Farmabmessungen beschränken kann. Bei all diesen großen Bewässerungsentwürfen kommt der Lieblingsgedanke der Regierung zur Geltung, möglichst viele Kleinfarmer auf den Neuländereien anzusiedeln. Da auf dem Südufer des Sun River reichliches Weideland zur Verfügung steht, hat die Regierung hier die Farmgrößen auf 40 bis 80 Acres bewässertes Land festgesetzt, dazu wird dann auf Wunsch noch Weideland zugeteilt, doch soll keine Farm mehr als 160 Acres Gesamtgröße erhalten.

f) Das Lower Yellowstone-Projekt. Mittels dieser in zwei Staaten belegenen Bewässerungsanlage werden ungefähr 66000 Acres Land kulturfähig gemacht, von denen zwei Drittel im Staate Montana und ein Drittel in Nord-Dakota liegen. Das zur Berieselung erforderliche Wasser wird dem Yellowstone-Fluß an einer Stelle 18 Meilen nordöstlich der Stadt Glendice in Montana entnommen. Die mittlere Höhenlage des Landes bemißt sich auf 1900 Fuß über dem Meere und die Jahrestemperatur wechselt zwischen — 34° und + 38° C. Der Boden besteht aus sandigem Lehm, der besonders geeignet ist, um große Ernten des im Westen allgemein üblichen Futtermittels Luzerne (Alfalfa) zu tragen. Man hat auch Getreide mit Erfolg angebaut und hofft, daneben den Zuckerrübenbau einbürgern zu können. Die durchschnittlich fallende Regenmenge beträgt im Jahre 16 Zoll. Das berieselte



Abb. 13. Der North-Platte-Fluß in der Nähe des Pfadfinderdammes in Wyoming flußaufwärts gesehen.

Land wird in folgende Gruppen eingeteilt: Montana, Privatland 14618, Staatsland 13522, Land im Besitze von Eisenbahngesellschaften 16742 Acres; Nord-Dakota, Privatland 12786, Staatsland 8332 Acres. Die privaten Ländereien umfassen somit 27404, die öffentlichen 21584 und das Eisenbahnland 16742 Acres, insgesamt also 66000 Acres. Die weitere Umgebung dieses Bewässerungsgebietes umfaßt die größten und besten Weideplätze, welche man in den Vereinigten Staaten kennt, sie bietet daher reichlich Platz für ausgedehnte Rindvieh- und Schafhaltung.

Das Hauptbauwerk dieser Bewässerungsanlage ist ein großer Verteilungsdamm im Yellowstone-Fluß von 12 Fuß Höhe und 700 Fuß Länge, ferner 259 Meilen Haupt- und Seitenkanäle und eine Kraftstation, die 290 Pferdestärken entwickelt. Die Farmgröße ist für das Lower Yellowstone-Projekt im allgemeinen auf 80 Acres bemessen, allerdings ohne etwaiges Weideland.

13. Das North Platte-Unternehmen in Nebraska-Wyoming.

Es ist dies das größte Bewässerungswerk, welches die amerikanische Regierung auf Grund des Reclamation Act in den ersten zehn Jahren in Angriff genommen hat. Die Anlage bezweckt die Nutzbarmachung des North Platte-Flusses für die Bewässerung ausgedehnter Ländereien im Ausmaße von mehr als 350000 Acres in den Staaten Nebraska und Wyoming. Ein Teil des zu bewässernden Landes liegt 320 km von dem Bewässerungswerk, einer Stauanlage am oberen Flußlauf, entfernt. Die Kosten des Unternehmens stellen sich nach der Berechnung auf ungefähr 35 $ pro Acre Bewässerungsfläche.

Versuche, welche in den Jahren 1905 und 1906 mit dem Anbau von Rüben auf einem probeweise bewässerten Teil der North Platte-Anlage gemacht worden sind, ergaben Ernten von 200 dz Rüben vom Acre. Diese erzielten beim Verkauf auf der nächsten Bahnstation 50 Cents für den dz und wiesen einen Zuckergehalt von 15 vH. auf.

Angesichts dieser guten Ernteergebnisse waren die Ländereien des North Platte-Bewässerungsgebiets schnell zum größten Teil von Ansiedlern in Besitz genommen und stellenweise schon mit Gräben für die Aufnahme von Wasser aus den damals erst noch zu erbauenden Kanälen der Regierungsanlage versehen.

Das zu bewässernde Gebiet liegt etwa 100 Meilen nördlich von Cheyenne (Wyo) und umfaßt vorläufig 129000 Acres. Die mittlere Höhenlage dieses Geländes beträgt 4100 Fuß über dem Meeresspiegel, die Temperatur liegt zwischen -32^{0} und $+38^{0}$ C und die jährliche Regenmenge erreicht ungefähr 15 Zoll. Der Boden besteht aus sandigem Lehm, ist frei von alkalischen Salzen und erfordert zur genügend wirksamen Bewässerung $2^1/_2$ Acrefeet Wasser pro Acre und Jahr. Luzerne ist auch hier das hauptsächlich angebaute Futtermittel, doch werden daneben Kartoffeln, Getreide und Zuckerrüben mit Erfolg gezogen. Gutes Weideland liegt zudem in Wyoming.

Die Farmgröße ist zu 80 Acres festgesetzt worden und von den Ansiedlern werden einschließlich Unterhaltungskosten der Anlage 45 $ pro Acre erhoben. Das Wassereinzugsgebiet am Pfadfinderdamm ist ungefähr 12000 Quadratmeilen groß und hat einen Abfluß von 1370000 Acrefeet. Das technisch wichtigste Bauwerk ist die große Stauanlage, welche

als „Pfadfinderbecken“ am North Platte-Fluß, ungefähr 50 Meilen südwestlich der Stadt Casper liegt, ferner kommt ein großer Verteilungsdamm 150 Meilen weiter flußabwärts bei Whalen und endlich noch ein 150 Meilen langer „Interstate“-Kanal in Betracht. Die Gesamtlänge der Haupt- und Seitenkanäle stellt sich auf 598 Meilen. Der Pfadfinderdamm ist wohl der größte Staudamm der Welt und besteht aus rauhem Betonmauerwerk in Bogenform, ist 218 Fuß hoch und oben 432 Fuß lang. Siehe Abb. 13. Das Staubecken besitzt eine Aufnahmefähigkeit von 1025000 Acrefeet (1330 Millionen cbm). Der Verteilungsdamm bei Whalen ist in Abb. 14 wiedergegeben und besteht aus Eisenbeton von 29 Fuß Höhe und 300 Fuß Länge. Ein Verteilungsdamm ist bei Guernsey geplant, um dort einen Zuleiter zu versorgen, der Ländereien in Goshen Hole im östlichen Wyoming und westlichen Nebraska bewässern soll. Die farmmäßige Besiedelung dieser letztgenannten Landfläche soll jedoch erst dann stattfinden, wenn die ganze Bewässerungsanlage fertiggestellt ist, so lange aber bleibt das Land der Freigabe für Farmer noch verschlossen. Man will durch das Goshen Hole-Projekt mehr als 200000 Acres Land bewässern, welches sich am Südufer des North Platte-Flusses bis nach Nebraska hin ungefähr 140 Meilen lang erstreckt. — Endlich wird noch vom oberen Punkte des Interstate-Kanals aus, als viertes Bauwerk, der Fort Laramie-Kanal gebaut. Er verläuft auf der Südseite des Flusses nach Osten hin, ist 130 Meilen lang und wird 50000 Acres bewässern, von denen 30000 in Wyoming und 20000 in Nebraska liegen.

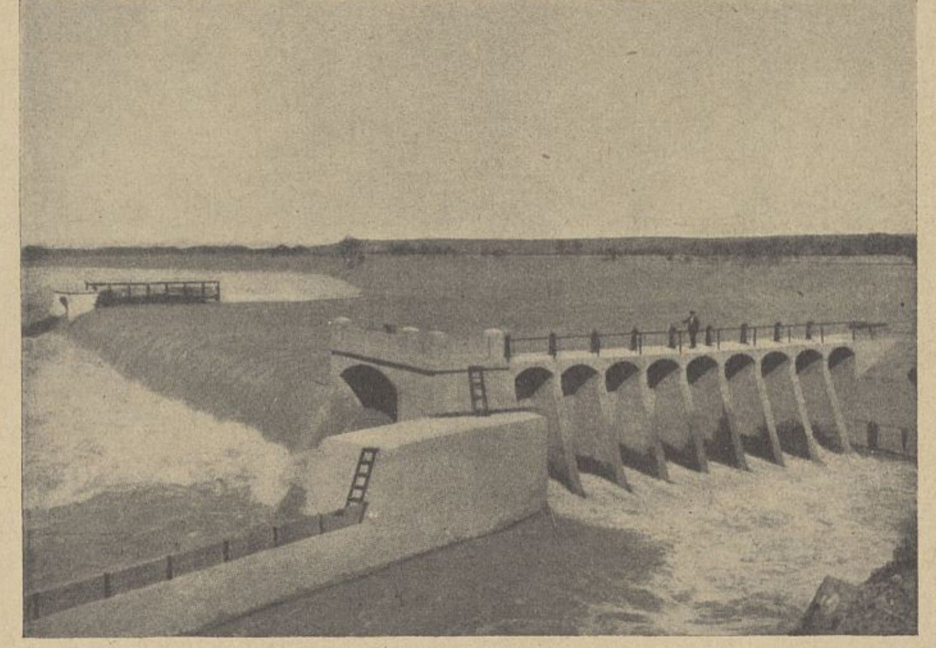


Abb. 14. Der Verteilungsdamm im North-Platte-Fluß in Nebraska-Wyoming.

14. Die Truckee-Carson-Anlage in Nevada.

Dieses Werk ist das erste und auch eines der größten Bewässerungsprojekte, welches die amerikanische Regierung in Angriff genommen hat.

Die zu bewässernden Ländereien in Gesamtgröße von über 375000 Acres liegen in dem Tal des Carsonflusses im östlichen Teil Nevadas.

Die Kosten der Anlage sind auf etwa 9 Mill. Dollar berechnet worden. Die Ausführung dieses Unternehmens ist für den schwach bevölkerten und an landwirtschaftlichen Unternehmungen armen Staat Nevada von großer Wichtigkeit. Die in das Bewässerungsgebiet fallenden Ländereien sind gut geeignet zum Anbau von Weizen, Hafer, Kartoffeln und Luzerne.

Der erste Teil von bewässerbarem Land wurde bereits 1907 der Besiedelung freigegeben, und jeder Ansiedler hat, auf zehn Jahre, jährlich 3 $ pro Acre zu bezahlen, ohne Zinszahlung für etwa verzögerte Raten. Dazu tritt noch eine geringe Belastung von 60 Cents für den Acre als Kostenbeitrag für Betrieb und Unterhaltung der Anlage. Bei der Landnahme hat der Farmer beide Beträge, also 3,60 $ pro Acre, zusammen zu bezahlen; die Farmgröße beträgt 80 Acres.

Nahe bei der Stadt Wadsworth am Truckee-Fluß hat man ein festes Wehr in den Flußlauf gebaut, welches das Wasser des Flusses in einen 31 Meilen langen Kanal und durch diesen zum Carson-Fluß hinüberleitet. Siehe Abb. 15 u. 16. Hier ist ein Verteilungsdamm errichtet worden, der die Wassermenge in zwei Hauptkanäle schafft. Der erste Teil des Projekts umfaßt mehr als 600 Meilen Haupt- und Seitenkanäle, 50000 Fuß Deiche und die zwei Wehre im Truckee- und Carson-Fluß. Im ganzen hofft man hiermit allein schon 260000 Acres bewässern zu können, wozu aber noch verschiedene Staudämme und -Becken sowie Kraftstationen gehören. Die zwei großen Staudämme sind 110 Fuß hoch und vorzüglich ausgeführt; die langen Hauptkanäle können bequem das Wasser ganzer Flüsse aufnehmen und sind teilweise völlig in Zement aufgeführt. Von dem Berieselungsland gehört ungefähr $^3/_4$ dem Staate. Das Klima ist ein mildes, und wenn auch die mittlere Höhenlage bei ungefähr 4000 Fuß über dem Meere ist, so fällt doch die Temperatur nur sehr selten unter —18° C, steigt aber bis + 41° C. Die mittlere jährliche Regenmenge im Bewässerungsgebiet beträgt nur 4 Zoll. Der Boden besteht aus Lehm und vulkanischer Asche, die jährlich an Berieselungswasser 3 Acrefeet erfordern.

Das Wassereinzugsgebiet mißt im ganzen 3450 Quadratmeilen, erhält jährlich 25 Zoll Regen und leistet somit schätzungsweise 1000000 Acrefeet Wasser. Das Werk liegt im Bette eines ehemaligen Sees, des Lake Labontan, und bewässert eine bisher öde, höchst trostlos aussehende Strecke, bekannt als Vierzigmeilenwüste.

15. Anlage in Neumexiko.

a) Das Carlsbad-Projekt. Dieses Unternehmen umfaßt zunächst den Erneuerungsbau von Kanälen und Staubecken im Pecos-Fluß in der Grafschaft Eddy, die früher von einer privaten Gesellschaft errichtet waren, um etwa 20000 Acres Land zu bewässern. Dieses Land befand sich damals in privatem Besitz, doch liegen viele tausend Acres in ausgedehnten Pachtungen. Die alten Bewässerungsanlagen

im Pecos-Tale waren von verschiedenen Besitzern dortiger Farmen erbaut, die hier ein ausgedehntes System von Berieselungen mit einem Kostenaufwand von über 1 Million $ schufen. Der Preis solchen Landes lag zwischen 20 und 60 $ pro Acre. Am 4. Oktober 1904 zerstörte eine Hochflut des Pecos-Flusses einen großen Teil des Avalon-Dammes, auf den das gesamte vielverzweigte Kanalsystem angewiesen war. Die Besitzer waren jedoch nicht in der Lage, diese Schäden wieder auszubessern; und weil ihre Ländereien im schätzungsweisen Werte von 2000000 $ infolgedessen mit völliger Zerstörung bedroht schienen, wandten sie sich an die Regierung in Washington. Diese nahm dann den Wiederaufbau und zugleich auch eine Vergrößerung des ganzen Bewässerungswerkes in die Hand.



Abb. 15. Die Truckee-Carson-Anlage in Nevada, der betonierte Truckee-Kanal.

Die Regierung setzte die Wasserbezugsgebühr auf 31 $ pro Acre fest, zahlbar wie üblich, in zehn Jahresraten, und außerdem für Unterhaltungs- und Betriebskosten jährlich 1,35 $ pro Acre. Das bewässerte Land liegt 3100 Fuß hoch und die Temperatur schwankt zwischen -18^0 und $+43^0$ C. Der leichte Sandboden ist für eine Bewässerung sehr dankbar,

b) Das Hondo-Projekt. Diese Bewässerungsanlage besorgt die Aufstauung und Verteilung der Wässer des Hondo-Flusses, eines Nebenlaufs des Pecos-Flusses. Man berieselt hier im ganzen rund 10000 Acres Land in der Umgebung von Roswell in der Grafschaft Chaves. Die mittlere Höhenlage des Bewässerungsgebietes beträgt 3750 Fuß über dem Meere und der Boden erfordert an $2^1/_2$ Acrefeet Berieselungswasser im Jahre. Futtermittel, Getreide, Obst und Gemüse bringt der Boden bei Bewässerung in reicher Ernte.

Das Staubecken liegt in einer Talsenke und man hat durch Anlage von fünf Eindämmungen zwischen den anstehenden Hügeln das Wasserfassungsvermögen noch wesentlich vergrößert. Das Wasser wird durch einen 20 Fuß hohen Erddamm aus dem Hondo-Fluß nach dem Staubecken hin abgelenkt und diesem dann durch einen Kanal von 70 Fuß Sohlenbreite, einer Länge von etwa 1 Meile und einer Leistung von 1200 Kubikfuß in der Sekunde zugeführt. Ein Auslaß- oder Spülkanal verbindet den tiefsten Punkt des Staubeckens mit dem Hondo-Fluß und wird durch ein Schleusentor im Erddamm abgeschlossen. Durch einen kleinen Verteilungsdamm aus Beton wird das Berieselungswasser in zwei Zuleiter geleitet deren je einer auf jedem Ufer des Hondo-Flusses liegt.

c) Das Rio Grande-Projekt. Diese Bewässerungsanlage umfaßt die Berieselung von nicht weniger als 185000 Acres Land, wovon 115000 in Neu-Mexiko, 45000 in Texas und weiter 25000 in Mexiko belegen sind. Der Anschluß der im Staate Mexiko liegenden Ländereien an die Bewässerungsanlage ist durch ein Abkommen vom 16. Januar 1907 geregelt worden.

Der zuerst erbaute Leasburg-Damm beschafft Wasser für 25000 Acres im Mesilla-Tale. Der 600 Fuß lange Damm ist aus Beton hergestellt und mit Schleusentoren und Spülkanal ausgestattet. Von diesem Verteilungsdamm aus wurde ein 6 Meilen langer Kanal gebaut, der die Verbindung mit dem bereits vorhandenen älteren Las Cruces-Kanal herstellt.

Ferner gehört zum Rio Grande-Projekt noch der Eagle-Damm, den man aus Betonblöcken quer durch den Rio Grande gegenüber der Stadt Eagle in Bogenform erbaute. Dieser Damm ist 265 Fuß hoch und an der Krone 1480 Fuß lang bei 400 Fuß Sohlenlänge; er schafft ein Staubecken von 190 Fuß Tiefe am unteren Ende und 45 Meilen Länge. Der Stauinhalt beträgt 2538000 Acrefeet. Die Kosten des Eagle-Dammes allein hat man zu 7200000 $ berechnet, während der Verbindungskanal zwischen dem Leasburg-Damm und dem Las Cruces-Kanal auf 200000 $ bemessen wurde. Im Mesilla-Tale hofft man durch Wiederherstellung verschiedener älterer, aber vielfach verfallener kleiner Kanäle die gesamte Bewässerungsfläche von 25000 auf 40000 Acres Farmland heben zu können. Der Boden erfordert durchschnittlich $2^1/_2$ Acrefeet Wasser im Jahre. Der durchschnittliche jährliche Regenfall beläuft sich im Bewässerungsgebiete auf nur 9,5 Zoll.

Das zum Rio Grande zählende Wassereinzugsgebiet umfaßt 37000 Quadratmeilen mit einer jährlichen Abflußmenge von 860000 Acrefeet.

16. Anlagen in Nord-Dakota.

Bei dem geringen Gefälle des Missouri-Flusses erwies sich ein Aufstau als unzweckmäßig. Man baute größere

Pumpwerke, deren Kraftstationen Braunkohle verwandten, die im nördlichen Dakota vorkommt. Die Zentralkraftstation liegt nahe bei den Braunkohlengruben; die geförderte Kohle wird mittels eigener Schwerkraft zu den Dampfkesseln geschafft. Mit Rücksicht auf den unständigen Charakter der vielen Sandbänke im Missouri hat man die Pumpen auf schwimmende Barken gesetzt und sie mit dem Ufer durch biegsame Rohrleitungen verbunden. Die Pumpen, welche mit elektrischer Kraft angetrieben werden, fördern ihr Wasser in große Becken, von wo aus es mittels Kanälen den Farmen zugeführt wird. Wenn auch der Heizwert der Braunkohle nicht hoch ist, so hat sie doch keinerlei Transportkosten zu tragen, kommt also recht billig zu stehen. In Nord-Dakota sind verschiedene solcher Pumpwerke geschaffen worden.

a) Das Williston-Projekt. Dieser Bau ist einer der eigenartigsten von sämtlichen großen Bewässerungsanlagen, welche durch die Regierung unternommen sind. Der Missouri hat hier die Gewohnheit, fortwährend seine Ufer zu durchbrechen und seinen Lauf zu verlegen, so daß es unmöglich ist, irgendwelche massiven Bauten für die Wasserverteilung zu errichten, es sei denn unter Aufwand ganz bedeutender Kosten. Die unmittelbar bei den Kohlengruben erzeugte elektrische Kraft führte man mittels Fernleitung an das Missouriufer zum Betreiben der großen Pumpwerke, die man auf schwimmenden Unterbauten verankerte. So wurden kostspielige Schutzbauten gegen die Sandbänke im Fluß vermieden. Das heraufgepumpte Wasser wird zunächst in große Klärbecken geleitet, in denen sich der Flußsand und die übrigen Sinkstoffe des Missouri absetzen.

Das Williston-Projekt umfaßt für sich allein 8000 Acres Ufer- und Talgelände in Muddy Valley in und bei Williston, doch hat man gleich bei dem Bau auf eine Erweiterung bis zu 12000 Acres Bedacht genommen. Das zu berieselnde Land liegt durchschnittlich 1875 Fuß über dem Meeresspiegel und die Temperatur schwankt zwischen -43^{0} und $+42^{0}$ C. Der Boden besteht aus schwerem Ton, näher zu den Ufern jedoch aus sandigem Lehm, und erfordert jährlich 2 Acrefeet Berieselungswasser. Das Land eignet sich zum Anbau aller harten Getreidesorten, Futtermittel, Zuckerrüben, Flachs und Hafer. Man vermag auch mit Erfolg Gartenfrüchte zu ziehen, und das bewässerte Land trägt bei guten Ernten bis zu 450 Bushel Kartoffeln pro Acre. Ferner ist gutes Weidegelände vorhanden.

Die Stadt Williston hat eine Bevölkerungsziffer von 2200 bis 2500. Der Platz selbst bildet den natürlichen wirtschaftlichen Mittelpunkt für ein Gebiet von ungefähr 60 Meilen im Umkreis. Die Baukosten der Williston-Anlage bemessen sich zu 38 $ pro Acre Berieselungsland, zahlbar in zehn Jahresbeträgen von je 3,80 $. Außerdem erhebt die Regierung für Betrieb und Unterhaltung der Anlagen 70 Cents pro Acre und 50 Cents pro Acrefeet tatsächlich zur Berieselung während des Jahres gelieferten Wassers.

b) Das Buford-Trenton-Projekt. Es liegt auf dem Nordufer des Missouri nahe dem Staate Montana. Hier werden ungefähr 12500 Acres Ufergelände und weiter abliegender Boden bewässert, die sich nördlich des Flusses auf etwa 20 Meilen ostwärts erstrecken und sich entlang der Great Northern-Eisenbahn hinziehen. Die Endpunkte des bewässerten Gebietes sind Buford und Trenton, beides Stationen an jener Eisenbahnlinie. Wasser wurde zuerst für etwa 4000 Acres geliefert. Die Antriebskraft für die Pumpwerke des Buford-Trenton-Projektes wird ebenfalls auf der Hauptstation zu Williston erzeugt und dann 28 Meilen weit mittels elektrischer Leitung nach Buford übertragen. Der Trenton-Teil des Bewässerungsgebietes liegt ziemlich inmitten der Bewässerungsländereien von Williston und Buford.

c) Das Nesson-Projekt. Diese Anlage liegt etwa 30 Meilen südöstlich von Williston und ungefähr 20 Meilen südlich der Great Northern-Bahn. Das Bewässerungsgebiet umfaßt Ufergelände und Inlandsboden zu beiden Seiten des Missouri im Ausmaße von etwa 15000 Acres. Nahezu ein Fünftel dieses Landes ist Staatseigentum und wurde vor der Fertigstellung der Bewässerungswerke bereits zur Ansiedlung freigegeben. Vier große Pumpstationen werden elektrisch von einer großen Zentralkraftstation aus betrieben, die ganz nahe einer Braunkohlengrube errichtet wurde.

17. Das Umatilla-Projekt in Oregon.

Ungefähr 190 Meilen östlich von der oregonischen Stadt Portland in der Grafschaft Umatilla erstrecken sich etwa 25000 Acres bewässerbaren Landes an den Ufern des Columbia-Flusses und des Umatilla-Flusses. Zur Durchführung einer genügenden Bewässerung hat man hier zunächst ein Staubecken geschaffen, dessen Leistungsfähigkeit 50000 Acrefeet beträgt und welches durch einen Zuflußkanal vom Umatilla-Fluß her gespeist wird. An Verteilungskanälen sind 138 Meilen Baulänge vorhanden. Die Farmgröße auf den Staatsländereien ist auf höchstens 40 Acres festgesetzt, doch sind die meisten zugeteilten Farmen nur 10 bis 20 Acres groß. Die gesamten Baukosten der Umatilla-Anlage belaufen sich auf 60 $ pro Acre und die Unterhaltungs- sowie Betriebskosten wurden auf 1,30 $ pro Acre vorläufig bemessen.

Das berieselbare Land liegt im allgemeinen 470 Fuß über dem Meeresspiegel und besitzt äußerst günstige klimatische Bedingungen, namentlich für die verschiedenen Sorten Frühgemüse und Frühobst. Zwar wächst hier auch Luzerne vortrefflich, doch ist der Boden zu wertvoll, um Viehfutter zu tragen. Die örtliche Lage und die Absatzbedingungen, Verkehrswege, Bahnen usw. sind allesamt für das Umatillagebiet äußerst günstig.

Das Wassereinzugsgebiet umfaßt 1610 Quadratmeilen mit einem durchschnittlichen Regenfall von 20 Zoll im Jahre und einem Abfluß von 530000 Acrefeet. Die jährlich in dem Berieselungsgebiet niedergehende Regenmenge beträgt nur 9 Zoll.

18. Das Klamath-Projekt in Oregon-Kalifornien.

Seine Aufgabe ist die Bewässerung von etwa 240000 Acres im südlichen Oregon und im nördlichen Kalifornien. Es handelt sich bei ihm um die Anlage verschiedener Staubecken, eines Kanalsystems von 680 km Länge, sowie um die Trockenlegung des unteren Klamath-Sees und eines Teiles des Tule-Sees. Die zu entwässernden und späterhin zu kultivierenden Flächen der Seen umfassen allein schon rd. 120000 Acres. Die Kosten sind auf $3^1/_2$ Mill. Dollar veranschlagt.

Der Bau des Klamath-Projekts unterscheidet sich insofern von vielen anderen Bewässerungswerken, als hier bereits ein großes natürliches Wassersammelbecken vorhanden ist, welches in einer solchen Höhe liegt, daß von ihm aus der größte Teil

des Berieselungslandes bewässert werden kann. Es ist dies der Obere Klamath-See in Oregon. Das Klamath-Projekt bezweckt zunächst die Bewässerung von ungefähr 190000 Acres, die in den Grafschaften Klamath (Oregon) und Madoe und Sisktyou in Kalifornien liegen. Der Gesamtplan umfaßt ferner noch die Bewässerung von Talgebieten, die zunächst entwässert und später berieselt werden sollen. Die Ländereien sind am unteren Klamath- und Tule-See gelegen und stellen vorläufig nichts weiter als ausgedehnte Sumpf- und Seengebiete dar.

Alles hochgelegene Land, welches unter dieses Bewässerungsprojekt fällt, befand sich schon früher in privaten Händen, zum Teil sind hier noch große Gutsbesitzungen, die allerdings dann nach den Bestimmungen des Reclamation Acts in Farmen von nicht über 160 Acres Größe aufgeteilt werden müssen, da nach dem Gesetze keiner Farm von mehr als 160 Acres Wasser geliefert werden kann. Das Staatsland, welches unter das Klamath-Projekt fällt, umfaßt den Hauptteil der Sumpfstrecken und die zwei Seengebiete.

Die tiefer gelegenen Sumpfländereien und Seenstreifen werden teilweise mit Wasser versorgt, welches aus Kalifornien nordwärts in den Oregon fließt. Durch Staudämme wird man diese Zuflüsse nahe bei den unteren Seen zusammendrängen, um so einen Teil des Überschwemmungslandes zu gewinnen, welches dann durch Wasser vom Oberen Klamath-See her berieselt werden soll. Dieses Teilprojekt bietet vielfache Kanalverzweigungen, da man einmal Wasser aus dem Staate Oregon herbeiführt, um Land in Kalifornien zu bewässern und auch umgekehrt Wasser aus Kalifornien zur Berieselung von Land im Staate Oregon verwendet. Die ersten Ländereien in Größe von ungefähr 30000 Acres wurden mit einem Kostenaufwand von 30 $ pro Acre unter Bewässerung gebracht.

Abb. 16. Die Trucken-Carson-Anlage in Nevada, die Einlaßschleusen des Trucken-Kanals.

Die allgemeine Höhenlage des Berieselungsgebietes beträgt 4100 Fuß ü. d. M. und die Temperatur schwankt zwischen — 20° und + 38° C. Der Wasserbedarf der Ländereien beträgt 1,8 Acrefeet jährlich. Die hauptsächlichen landwirtschaftlichen Erzeugnisse sind Getreide aller Art, Gemüse, Früchte und vor allem Kartoffeln, auch ist das Klima sehr zur Viehhaltung geeignet. Das gesamte Wassereinzugsgebiet, welches zum Klamath-Projekt zu rechnen ist, bemißt sich 3700 Quadratmeilen mit einem jährlichen Abfluß von 2124000 Acrefeet. Die mittlere jährliche Regenmenge in diesem Einzugsgebiet beträgt 20 Zoll, während das Berieselungsgebiet nur an 15 Zoll Regen erhält. Der Boden des Gebiets ist im allgemeinen von recht guter Beschaffenheit.

19. Das Belle Fourche-Projekt in Süd-Dakota.

Diese Bewässerungsanlage zählt mit zu den interessantesten Werken, welche zur Ausführung gelangten. Die technische Durchführung des Projekts bedingte nämlich die Schaffung eines der größten Erddämme in der Welt. Dieser Damm wurde in einer Talniederung, die zum Flußgebiet des Owl Creek gehört, angelegt; er ist mehr als eine Meile lang, hat 115 Fuß Höhe und seine Krone ist 20 Fuß breit. Das hierdurch geschaffene Staubecken wird durch einen eigens angelegten Zuleitungskanal vom Belle Fourche-Fluß aus gefüllt. Der Wasserinhalt des Staubeckens erreicht 42700000 Kubikfuß, somit etwa die Hälfte des Inhalts der Cheopspyramide. Die Wasseroberfläche dieses größten Sees Dakotas beträgt bei Vollfüllung an 9000 Acres und die Wassertiefe erreicht gut 60 Fuß.

Das Wassereinzugsgebiet bemißt sich auf 4270 Quadratmeilen und man rechnet bei einer jährlichen Regenmenge von 20 bis 30 Zoll auf eine Wasserzuflußmenge von 363000 Acrefeet.

Das Belle Fourche-Projekt wird nach seiner Vollendung ungefähr 100000 Acres Land im Norden und Nordosten der Schwarzen Hügel (Black Hills) durch Bewässerung erschließen. An 4700 Acres Farmland sind schon seit etwa 1910 berieselungsfähig. Ungefähr 65 vH. jener 100000 Acres sind öffentliches Staatsland und mehr als 1000 Farmen will man hier in dem Tale schaffen, wo bislang nur äußerst mäßige Viehweiden vorhanden waren. Der Wert des Landes betrug früher 5 bis 10 $ pro Acre, wird aber nach Durchführung der ganzen Bewässerung auf wenigstens 75 $ und noch darüber hinaus steigen. Die Anlage wurde in Teilabschnitten dergestalt in Angriff genommen, daß im Sommer 1907 schon die ersten 10000 Acres bewässert werden konnten.

Die normale Farmgröße ist zu 80 Acres festgesetzt worden, mit Ausnahme eines Umkreises von 2 Meilen um die dortigen Städte, woselbst die Farmen zu nur 40 Acres von der Regierung bemessen wurden. Die Ansiedler im Belle Fourche-Gebiet haben als Kostenanteil an dem Bewässerungswerk 30 $ pro Acre Farmland und einen jährlichen Beitrag von 40 Cents pro Acre für Unterhaltungs- und Betriebskosten zu zahlen.

Die mittlere Höhenlage des Geländes beträgt 2800 Fuß über dem Meeresspiegel; es herrscht hier ein prachtvolles Klima mit nur sehr wenig Winterschnee. Die Jahrestemperatur liegt zwischen — 29° und + 35° C. Wie auch in anderen Gegenden des großen westlichen amerikanischen Trockengebietes schwankte die Temperatur infolge der Trockenheit jedoch meist nur in geringem Maße, es kommen also fast nie sogenannte Wetterstürze vor. Sehr viel Obst, wie Äpfel, Pflaumen, Kirschen und auch Kleinbeerenobst gedeihen besonders in den höheren Lagen nahe den Hügeln sehr gut. Die Südseite des Flüßchens, des Owl Creek, hat mehr sandigen Boden, der sich gut zum Anbau von Kartoffeln eignet. Das hauptsächlichste Agrarprodukt ist auch hier wie überall in den Weststaaten Futterklee und Luzerne, da Rindvieh und Schafe in großer Zahl auf den entfernten Weiden, wo sie den ganzen Sommer über verbleiben, gehalten werden. Als Absatzgebiet für Obst und Gemüse kommen vor allem die Bergwerksgebiete in den Black Hills in Betracht.

20. Die Strawberry-Tal-Bewässerung in Utah.

Dieses Unternehmen sieht die Errichtung einer Bewässerungsanlage für ungefähr 60000 Acres Land im Staate Utah an der Ostküste des Utahsees vor. Das Gelände liegt ziemlich in der Mitte des Staates, 5 bis 15 Meilen südlich des Ortes Provo. Das Berieselungswasser wird einem Staubecken entnommen, welches im Strawberry-Tal, etwa 30 Meilen von dem zu bewässernden Land entfernt, errichtet ist. Mittels eines durch festes Gestein vorgetriebenen Tunnels von $3^1/_2$ Meilen Länge (19200 Fuß) wird das aufgespeicherte Wasser durch das Gebirge und die Wasserscheide geleitet und dann durch einen 18 bis 20 Meilen langen Zuleiter zu dem Farmland weitergeführt. Dieses Land liegt im Durchschnitt 4600 Fuß über dem Meere. Aus einem besonderen Hochkanal gewinnt man die nötige Betriebskraft, um Wasser auf hochgelegenes Farmland zu pumpen. Auch will man tiefgelegene Striche mittels elektrisch betriebener Pumpen entwässern.

Die Temperatur in Utah wechselt zwischen — 23° und + 35° C. Die Ansiedler legten Obstgärten an, sobald sie für ihre Farmen Wasser erhielten. Die bereits aus früheren privaten Anlagen bestehenden Kanäle sind vergrößert worden, um solchergestalt einen Teil des Regierungsprojekts zu bilden. Das zum Strawberry-Tal gehörende Wassereinzugsgebiet bemißt sich auf 870 Quadratmeilen, die jährliche Regenmenge auf 45 Zoll und der Abfluß somit auf ungefähr 168000 Acrefeet.

21. Anlagen im Staate Washington.

Im Staate Washington hat die Regierung durch ihren Reclamation Service, dessen Hauptleiter inzwischen F. H. Newell geworden war, mehrere große Bewässerungsprojekte ausarbeiten lassen, nämlich das Okanogan-Projekt und das in eine Reihe größerer Einzelwerke zerfallende Yakima-Projekt.

a) Das Okanogan-Projekt. Das bedeutendste Bauwerk ist ein großer Staudamm von 64 Fuß Höhe und 1000 Fuß Länge, welcher nach einem hydraulischen Füllverfahren errichtet wurde und ein Staubecken schuf, welches 13000 Acrefeet Wasser hält. Das Wassereinzugsgebiet beträgt 150 Quadratmeilen, hat jährlich im Mittel 17 Zoll Regen und führt schätzungsweise 37000 Acrefeet Wasser im Jahre. Die jährlich in dem zu berieselnden Farmgebiete fallende Regenmenge beträgt knapp 8 Zoll.

Die Okanogan-Anlage ist derart entworfen, daß hiermit an 10000 Acres Farmland in der Grafschaft Okanogan im Staate Washington bewässert werden können. Das Land liegt in einem Tale in der Nähe der kanadischen Grenze. Der Boden besteht aus zersetztem Basalt, Sand und Kies und ist recht fruchtbar. Er trägt alle Arten Getreide, Gras und Luzerne, ferner Obst, Nüsse und viele Gemüse. Der Hauptzweig der dortigen Landwirtschaft ist indessen die Anlage von Apfelbäumen. Die Farmgröße ist regierungsseitig auf nicht mehr als 40 Acres festgesetzt worden, da man bei dem fruchtbaren Boden auf eine möglichst intensive Farmwirtschaft hinarbeiten will. Das Land liegt etwa 1000 Fuß über dem Meere und erhält Temperaturen von — 23° bis zu + 41° C. Holz zum Häuserbau und zur Heizung steht in unbeschränkter Menge zur Verfügung. Das Land gehört zum Gebiete der Großen Nordeisenbahn. Der seit wenigstens dem Jahre 1890 betriebene Obstbau kennt keine Schädigung durch Frühjahrsnachtfröste. Deshalb werden im Okanogan-Tale auch fast alle Arten von Obst gezogen.

Für den Acre bewässerten Landes hat die Regierung den Preis auf 65 $ festgesetzt, zahlbar in zehn Jahresraten; ferner sind für Unterhaltungs- und Betriebskosten von jedem Ansiedler 1,50 $ jährlich pro Acre zu entrichten.

b) Das Yakima-Projekt. An der Ostseite des Kaskadegebirges im Staate Washington liegt eine Reihe von Tälern im oberen Teile des Einzugsgebietes des Yakimaflusses. Man hat nun berechnet, daß durch die Anlage eines Staubeckens und bei sachgemäßer Bewässerung hier ungefähr 460000 Acres Land dem Ackerbau dienstbar gemacht werden können. Das Yakima-Tal ist im ganzen etwa 500000 Acres groß und schließt ungefähr 100000 Acres ein, die der Yakima-Indianerniederlassung zugewiesen sind. Auch dieses Indianergebiet kann bei geringem Kostenaufwand berieselt werden.

Man hat das gesamte Yakima-Projekt in verschiedene technische Abschnitte zerlegt, die nach und nach durchgeführt werden sollen. Am Ausfluß mehrerer Gebirgsseen hat man zunächst Staudämme errichtet, die insgesamt nach ihrer Fertigstellung eine Wassermenge von rd. 930000 Acrefeet aufspeichern können. Der Ausbau des ziemlich weitläufigen Bewässerungssystems des Yakima-Tales wird durch die gleichzeitige Inangriffnahme bestimmter baulicher Einheiten gefördert. Als solche Einheiten unterscheidet man zunächst die Tieton-Einheit.

Das Land, welches vom Tieton-Werk aus bewässert werden soll, liegt nahe der Stadt Nord-Yakima in der Grafschaft Yakima. Die Bauten waren hierbei recht schwierig und sehr umfangreich. Das Tieton-Projekt als Teil des großen Yakimataluntemehmens umfaßt ein zu bewässerndes Gelände in Größe von 24000 Acres im Westen der Stadt. Das Berieselungswasser stammt vom Tieton-Fluß und wird zudem noch durch Wasser aus dem angestauten Bumping-See ver-

mehrt. Auf 12 Meilen Länge hat man den Hauptkanal angelegt und ihn entlang der steilen Wände des Tieton Canyon geführt, die an fünf Stellen untertunnelt sind. Diese Tunnels sind insgesamt über zwei Meilen lang. Abb. 17 zeigt ein betoniertes Teilstück des Kanals. Das zu bewässernde Land ist von welliger Oberfläche und das Wasserverteilungssystem infolgedessen recht verwickelt gestaltet.

Um das Wasser des Naches-Flusses, welches frühere Bewässerungsanlagen speiste, zu ersetzen, war es für die Regierung zunächst notwendig, Stauwerke am Bumping-See am Oberlauf jenes Flusses zu errichten. Das Bewässerungsland wird zu 300 bis 1000 $ pro Acre bewertet. Die Höhenlage beträgt 1300 bis 2100 Fuß über dem Meere und die Temperatur wechselt von — 29° bis + 39° C. Obwohl das Land die verschiedensten Getreidearten hervorbringen könnte, so ist doch der Acrepreis im allgemeinen ein derart hoher, daß man nach Durchführung der sachgemäßen Bewässerung in erster Linie Hopfenbau und Obstzucht treiben wird. — Die nächste technische Einheit des großen Yakima-Talprojekts ist die Sunnyside-Einheit. Dieser Teil der Anlage umfaßt den Erwerb, die Vergrößerung und Ausdehnung des Sunnyside-Kanalsystems, welches bereits im Betrieb stand. Die erste Neuanlage schuf weitere 11590 Acres Bewässerungsland zu dem bereits vorhandenen Landblock von 40000 Acres.

Abb. 17. Betonierter Lauf des Tieton-Kanals. Yakima-Projekt in Washington.

Um dem alten Kanalsystem mehr Wasser zuzuführen, hat die Regierung an geeigneten Stellen an den oberen Yakima-Seen Stauwerke errichtet und gleichzeitig den gesamten bisherigen Besitz der Washington-Bewässerungsgesellschaft gekauft. Der Bau dieser Sunnyside-Einheit und ebenso der Tieton-Einheit wurde im Winter von 1906 auf 1907 in Angriff genommen.

Die Kosten des Wasserbezugsrechtes belaufen sich bei der Sunnyside-Anlage auf 52 $ pro Acre, die nach üblicher Weise in zehn Jahresraten zahlbar sind; ferner gelangen 95 Cents pro Acre bewässertes Land als Beitrag zu den Betriebs- und Unterhaltungskosten zur Erhebung.

Das Land liegt durchschnittlich 700 Fuß über dem Meeresspiegel, die Temperatur beträgt — 29° bis + 43° C. Der Boden bedarf zur genügenden Durchfeuchtung 3 Acrefeet Wasser jährlich. Die Farmgrößen sind zu 40 und 80 Acres bewässerbares Land festgesetzt. Man zieht Futtermittel, Hopfen, Gemüse und Obst. Die Obstgärten des Yakima-Tales sind in der Umgegend wegen des Ertrages ihrer Edelfrüchte berühmt.

Als dritter Teil des Yakima-Projekts wurde die Wapato-Einheit in Angriff genommen. Das durch die Wapato-Anlage zu bewässernde Land liegt in der Yakima-Indianerniederlassung Yakima südlich des Atanum-Flusses und am rechten Ufer des Yakima-Flusses. Hier liegen insgesamt wohl an 116000 Acres bewässerungsfähiges Land, von welchem derzeit höchstens 15000 Acres mittels eines älteren Kanalsystems zu Zeiten des Hochwassers bewässert werden.

Die Beschaffenheit des Bodens und die Absatzverbindungen sind beide gleich ausgezeichnet. Der Boden gehört zum besten im ganzen Yakima-Tale. Um dieses ganze Gebiet sachgemäß zu bewässern, sehen die Pläne eine starke Vergrößerung des alten Kanalsystems durch den Bau weiterer neuer Kanäle mit zahlreichen Seitenkanälen vor und die Aufstauung von mehr als 200000 Acrefeet Wasser in den Yakima-Seen. Durch einen Kongreßbeschluß vom 6. März 1906 wurde das Ministerium des Innern beauftragt, den Wert der bereits vorhandenen alten Bewässerungswerke in der Indianerniederlassung festzustellen und die Kosten für die nötigen Erweiterungsbauten zu berechnen. Gleichzeitig mußten Abmachungen mit den Indianern getroffen werden, wonach das von ihnen nicht bebaute Land zum Regierungsbesitz erklärt wurde und für die Kosten des auszuführenden Bewässerungswerkes haftete.

Endlich gehört zum Yakima-Talprojekt noch die Kittitas-Einheit. Für dieses Kittitas-Projekt war in der Vorkriegszeit bislang noch keine Arbeit in Angriff genommen. Man will Land in der Umgegend von Ellensburg bewässern, und es soll zu diesem Zweck ein Zubringekanal von 90 Meilen Länge erbaut werden, der das Wasser dem Yakima-Flusse gerade oberhalb Easton entnimmt. Die Wachstumsperiode ist hier etwas kürzer als tiefer im Yakima-Tale, doch ist das Land sehr gut zu mannigfachem Farmbetrieb geeignet. Klima und Boden sind günstig für den Anbau von Getreide, Kleegras, Gemüsen und haltbaren Winteräpfeln. Auch liegt hier gewissermaßen die Milchkammer des östlichen Teiles des Staates Washington, da gute Viehweiden vorhanden sind.

22. Das Shoshone-Projekt in Wyoming.

Diese große Anlage im Staate Wyoming umfaßt die Errichtung einer massiven Talsperre, den Shoshonedamm von ungewöhnlicher Höhe in einem 80 bis 100 Fuß breiten, von senkrecht aufsteigenden Granitfelsen eingeschlossenem Tale, etwa 120 km östlich vom Yellowstone-Nationalpark. Der Bau

dieser Sperre wird allein zu mehr als einer halben Mill. Dollar bemessen und der Bau der ganzen Anlage etwa $3^1/_2$ Mill. Dollar kosten. Die Bewässerungsfläche wird im ganzen an 120 000 Acres groß sein.

Das Projekt sieht die Nutzbarmachung des Hochwassers des Shoshone-Flusses vor, um damit Land im nördlichen Teile der Grafschaft Bighorn (Wyoming) zu bewässern. Der Staudamm schneidet eine ziemlich enge Schlucht ab, so daß zwar die Menge des aufgestauten Wassers nicht hervorragend groß ist, wohl aber die Sperrmauer zu den höchsten derartigen Bauwerken der Welt zählt. Von der Talsohle an bis zur Oberkante mißt dieser Damm 328,4 Fuß und er ist an seiner Grundfläche nur 108 Fuß, an der Krone nur 200 Fuß lang. Die technischen Vorarbeiten zu diesem Staudamm waren insofern besonders schwierig, als es sich um eine fast unzugängliche Gegend handelt und auch die Untergrundverhältnisse des Flußbettes völlig unbekannt waren. Die Diamantbohrer mußten erst an 88 Fuß Boden durchfahren, ehe der feste Baugrund erreicht wurde, wobei man Steinblöcke bis zu 38 Fuß Dicke durchbohrte, die hier in Sand und Kies eingebettet liegen. Wahrscheinlich liegt also alter Glazialboden vor.

Wie auch in Arizona war es hier notwendig, eine mehrere Meilen lange Fahrstraße anzulegen. Im ganzen wird man nach neueren Vermessungen 155 000 Acres Land bewässern können. Das Staubecken ist 6600 Acres groß und vermag 456 000 Acrefeet Wasser zu halten. Der Verteilungsdamm bei Corbett, welcher das Wasser des Flusses durch einen $3^1/_3$ Meilen langen Tunnel in den Hauptzuleiter überführt, besteht aus armiertem Betonmauerwerk, ist 18 Fuß hoch und 400 Fuß lang. Das Wassereinzugsgebiet der Talsperre bemißt sich auf 1380 Quadratmeilen und die mittlere jährliche Regenmenge auf 15 Zoll; man erhält rechnungsmäßig einen Abfluß von 1150 000 Acrefeet. Die jährliche Regenmenge in dem zu bewässernden Gebiet bemißt sich nur auf 6 bis 10 Zoll. Die mittlere Höhe des Landes beträgt 4500 Fuß über dem Meeresspiegel und die Temperatur liegt zwischen -34^0 und $+35^0$ C. Das Klima ist trocken und angenehm, und der leichte Boden trägt bei sachgemäßer genügender Bewässerung reichliche Ernten an Getreide, Gemüse, Kartoffeln, Zuckerrüben und Obst. Zahlreiche Viehherden, Rindvieh und Schafe, werden den größten Teil des Jahres im Freien geweidet, erfordern aber im Winter Stallfütterung, so daß hier ein guter Heuabsatz stets gesichert war.

Die Größe der einzelnen Farmen ist für bewässertes Land auf 40 bis 80 Acres bemessen, und das Laud wird zum Preise von 46 $ pro Acre, zahlbar in zehn Jahresbeträgen verkauft. Die jährlichen Unterhaltungs- und Betriebskosten wurden zunächst auf 1 $ pro Acre festgesetzt.

Die umgebenden Höhenzüge sind mit Tannen- nnd Kieferwäldern bedekt und vermögen die Farmer mit Bauholz, die Viehzüchter mit leichtem Zaunmaterial zu versorgen. Steinkohlenbergwerke in der Nähe liefern die Kohle für Hausbrand und auch für neuentstehende Industrien. Gutes Trinkwasser wird im allgemeinen in 30 bis 50 Fuß Tiefe angetroffen.

Wenn man die hier in kurzen Zügen gegebenen Ausführungen über die von der amerikanischen Regierung seit dem Jahre 1902 in Angriff genommenen und meistens fertiggestellten Bewässerungsanlagen in den Weststaaten der Union überblickt, so muß man zugeben, daß hier in amerikanisch großzügiger Form gearbeitet wurde. Man hat Ländereien von nahezu 1 Million Acres (1 Acre = 0,4 ha) bewässerbar gemacht, von welchem bereits in der Vorkriegszeit ungefähr die Hälfte als Farmland verteilt war. Die Ausführungen zeigen ferner, daß das Gesetz, welches als Reclamation Act erlassen wurde, in vollstem Maße gerechtfertigt war und gründlichen Erfolg erzielte. Alles für die Bewässerungspläne der Regierung aufgewendete Geld kommt durch sichere Jahresraten wieder ein. Aber über diese finanzielle Seite hinaus liegt der Hauptwert des Reklamierungsgesetzes doch darin, daß man mit den aufgewendeten Mitteln zahllosen Farmern die Lebensmöglichkeit geschaffen hat und gleich von vornherein dem Landwucher insofern einen Riegel vorschob, daß man die Farmgröße auf den Bedarf der Kleinbauern zuschnitt. Die amerikanische Regierung bewies durch ihr Gesetz vom 17. Juni 1902, daß ihr der staatswirtschaftliche Wert des mittleren Bauernstandes zum vollen Bewußtsein gekommen war, und sie scheute keine Mittel, um diesen bäuerlichen Mittelstand im Lande selbst zu halten, anstatt ihn, wie es bisher geschah, nach Kanada übersiedeln zu lassen.

Die Bauten des Ems-Weser-Kanals in der Weserniederung bei Minden i. W.

(Mit Abbildungen auf Einlage-Tafel 4 u. 5. — Fortsetzung von Heft 7 bis 9 und Schluß.)

III. Straßenunterführungen.

Vom Oberbaurat Loebell in Hannover.

Bei Minden waren in der Niederung rechts der Weser zwei Landwege und eine Straße (Friedrich-Wilhelm-Straße) und links der Weser eine Straße (Hafenstraße) unter dem Ems-Weser-Hannover-Kanal hindurchzuführen. Der Kanalquerschnitt sollte uneingeschränkt über den dazu erforderlichen Bauwerken durchlaufen.

Nach dem Vorschlage der A.-G. Dykerhof u. Widmann in Biebrich a. Rh. sind die 7,5 m im Lichten weiten Bauwerke für die beiden Landwege Dankersen — Hasenkamp und Dankersen — Cammer als viereckige Kasten aus Eisenbeton mit ausgesteiften Ecken ausgeführt, weil sie zeitweilig in das Grundwasser hineinragen und daher einer festen Sohle bedürfen (vgl. Abb. 1). Nach den Enden zu steigt die Decke der Bauwerke entsprechend der Kanalböschung bis zur Leinpfadhöhe an, um der Durchfahrt mehr Licht und Luft zuzuführen. Die außen sichtbaren Betonflächen sind werksteinmäßig bearbeitet. Gegen Rißbildungen in den langen Bauwerken sind je zwei Querfugen vorgesehen, die die Mittelstücke von den Häuptern trennen. — Die festen Sohlen der beiden Unterführungen waren in den anschließenden Wege-

rampen bis zum Überschreiten des höchsten Grundwasserstandes weiterzuführen. Dadurch ergaben sich die Flügel als Fortsetzung der Seitenwände der Unterführungen. Anderenfalls würden die Flügel parallel zur Kanallängsachse gelegt worden sein, um einen besseren Anschluß zu gewinnen. Zur Entwässerung der beiden Bauwerke bei höheren Grundwasserständen dienen kleine elektrisch angetriebene Pumpen.

Die Dichtung gegen das unter 3,5 m Druck stehende Kanalwasser wird durch eine 1,5 mm starke Bleihaut bewirkt, deren 1 m breite Lagen miteinander verschweißt und gegen den Beton und die Tonschicht durch Asphaltpappe isoliert sind. Zum Schutze dieser Dichtung sind auf einer 10 cm starken Tonschicht gespundete Eisenbetonplatten verlegt, damit die Schiffsstangen die Bleihaut nicht beschädigen können.

Die Dichtung gegen das Grundwasser hat nur 1 m Überdruck auszuhalten und besteht aus zwei Lagen Asphaltpappe, die mit Goudron aufgeklebt, miteinander verklebt und überstrichen sind.

Die beiden Bauwerke wurden durch die A.-G. Dykerhof u. Widmann in Biebrich und durch die Firma Hüser in Oberkassel ausgeführt und kosteten 132000 und 169000 Mark.

Abb. 1. Unterführung Dankersen-Hasenkamp.

Die Unterführung der Friedrich Wilhelm-Straße (Abb. 2) mußte in einer unsymmetrischen Gliederung ausgeführt werden, weil in der Durchfahrt für das Gleis der Kreisbahn die Konstruktionshöhe gerade nur für die von der Bahn in Anspruch genommene Lichtweite ausreichte. Da das Hochziehen der Decke an den Enden wie bei den zuvor beschriebenen beiden Unterführungen hier nicht angängig war, wurden zwecks Verbesserung der Belichtung an den Innenwänden dieser Unterführung sowie derjenigen der Hafenstraße in Station 46 glasierte Kacheln angebracht.

Der Baugrund bestand aus grobem Kies, der so fest gelagert war, daß das statisch unbestimmte Bauwerk von Rissen frei blieb; auch in den beiden Querfugen war eine Bewegung der drei Bauwerksteile gegeneinander nicht zu erkennen. Das Bauwerk ist in den Abb. 3 bis 7 im Längenschnitt, Querschnitt und Grundriß dargestellt.

Die Dichtung ist in der gleichen Weise ausgeführt wie bei den zuerst beschriebenen beiden Bauwerken (vgl. Abb. 8), doch hatte die Asphaltfirma ein Bitumen mit zu niedrigem Schmelzpunkt gewählt. Beim Aufbringen der Tondichtung, die in der heißen Jahreszeit erfolgte, rutschte der Ton mit der Bleihaut ab, wobei die Bleihaut oben an den Leinpfadkanten abriß. Durch Befestigung der Bleihaut auf der Sohle in Abständen von etwa 2 m an Betonrippen und durch Bekleidung der Stirnmauerdichtung mit einem Schutzmantel aus Eisenbeton, der an dem Beton in Höhe der Leinpfade aufgehängt wurde, ist einer Wiederholung dieses Schadens, der gleichzeitig bei der hierunter beschriebenen vierten Unterführung eintrat, vorgebeugt. Ausgeführt wurde dieses Bauwerk durch die Firma Mölders in Hildesheim und erforderte 163000 Mark.

Die Unterführung für die Hafenstraße und ein Gleis (vgl. Abb. 9) war für die architektonische Behandlung günstiger. Die Verblendung besteht aus rotem Pfälzer Sandstein, wie er für die daneben liegende Kanalbrücke über die Weser angewendet wurde. Obwohl die gewählten Bögen nicht so starr sind wie die wagerechte Decke der soeben beschriebenen Unterführung, gab es doch am Ende des einen Widerlagers einen Querriß im Gewölbe, weil hier der Untergrund für ein statisch unbestimmtes Bauwerk wider Erwarten nicht genügend unnachgiebig war. Durch Einziehen kräftiger Anker in die Stirnwände wurde für den Fall, daß weitere Querrisse im Gewölbe eintreten sollten, dieses von wagerechten Kräften infolge des Wasserdrucks entlastet. Zwei weitere Risse entstanden in den beiden Stirnmauern über der Mittelwand. Diese Risse sind unschädlich und sind von unten auch kaum zu sehen, weil sie in den Fugen der Werksteinverblendungen verlaufen. Die A.-G. Weyß u. Freytag hat dieses Bauwerk für 236000 Mark ausgeführt.



Abb. 2. Unterführung Friedrich-Wilhelmstraße.

Die vier Bauwerke sind dicht geworden. Für ähnliche Ausführungen wird empfohlen, die Flügel von den Bauwerken durch Fugen parallel zur Kanallängsachse ganz zu trennen und länger zu wählen, damit die

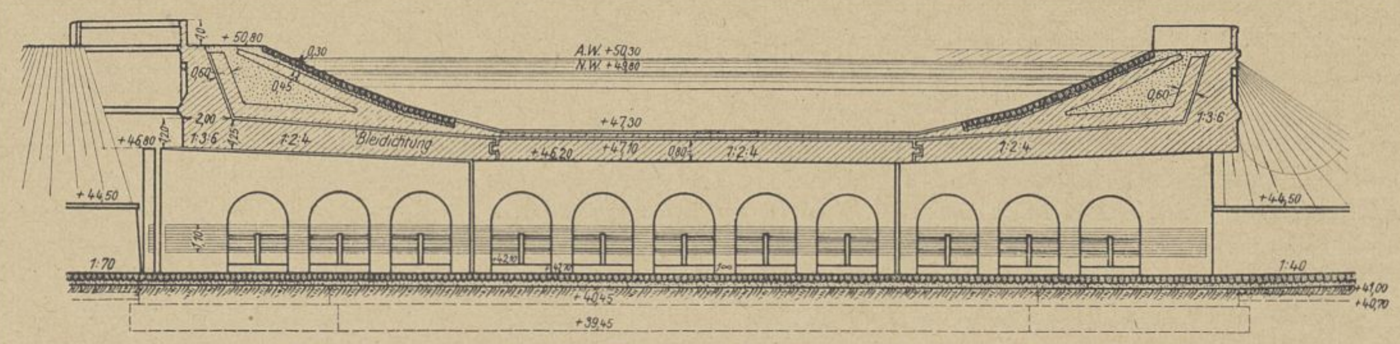


Abb. 3. Unterführung der Friedrich-Wilhelmstraße in Minden. Schnitt *a-b*. Maßstab 1:333$^{1}/_{3}$.

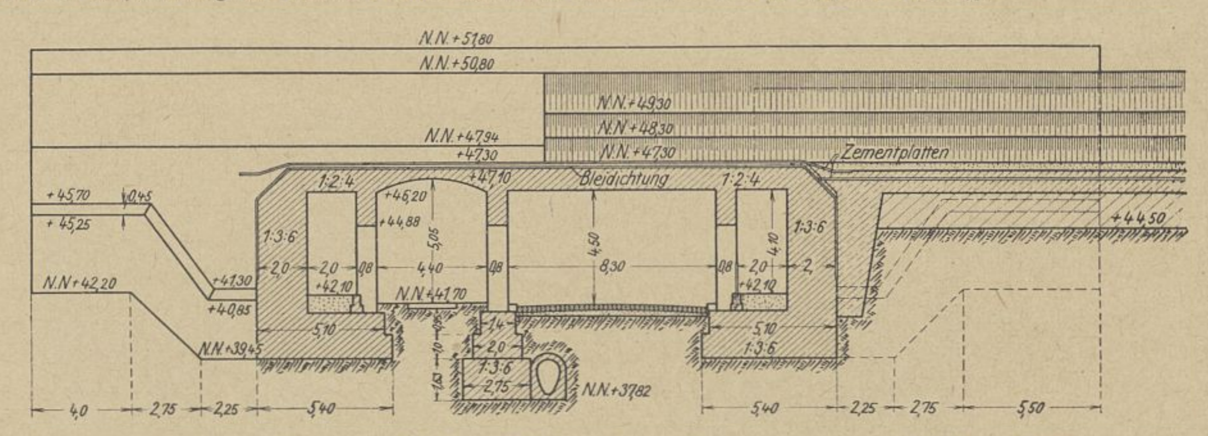


Abb. 4. Unterführung der Friedrich-Wilhelmstraße in Minden. Schnitt *c-d*. Maßstab 1:333$^{1}/_{3}$.

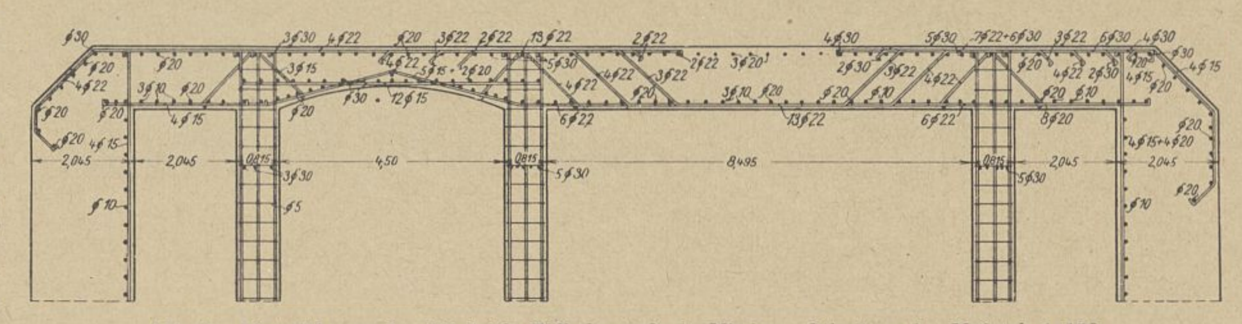


Abb. 5. Unterführung der Friedrich-Wilhelmstraße in Minden. Schnitt *g-h*. Maßstab 1:150.

Böschungskegel in der Neigung 1:2 ausgeführt werden können. Besonderer Sorgfalt bedarf der Anschluß der Tondichtung der Kanaldämme an die Bleidichtung. Dieser wird am besten gelingen, wenn soviel Konstruktionshöhe vorhanden ist, daß die Tondichtungsschicht des Dammes ungeschwächt über die Bauwerke fortgeführt werden kann. Die Ecke *A* muß nach der Linie *B-C* in Abb. 10 reichlich abgeschrägt werden. Die Bleidichtung an den Seiten der Flügel endet am besten in trapezförmigen Nuten, in die der Dichtungston fest eingestampft wird.

IV. Die Pumpwerke des Ems-Weser-Kanals bei Minden.

Vom Oberbaurat Loebell in Hannover.

Um den Ems-Weser-Kanal mit Weserwasser zu versorgen, ist südlich des Kanals oberhalb der Ausmündung der Mindener Kanalisation ein Pumpwerk mit einer Leistung von 16 cbm in der Sekunde am linken Weserufer erbaut worden. Ein zweites kleineres Pumpwerk von 4 cbm Sekundenleistung wurde auf dem rechten Weserufer in Verbindung mit dem Landpfeiler der Kanalbrücke über die Weser errichtet, damit bei einer Sperrung dieser Brücke der Kanalteil östlich der Weser mit Wasser versorgt werden kann. Ansichten des Pumpwerks vom Unterwasser und Oberwasser geben Abb. 11 u. 14 wieder. Beide Pumpwerke erhalten zum Betriebe aus dem fiskalischen Wasserkraftwerk Dörverden an der Weser elektrische Energie, die als Drehstrom von 43000 Volt Spannung zugeleitet und in dem größeren Pumpwerk auf die Maschinenspannung von 6000 Volt umgeformt wird.[1])



Abb. 6. Unterführung der Friedrich-Wilhelmstraße.
Falten und Risse in der Bleidichtung, weil wegen zu niedrigen Schmelzpunktes das Bitumen zu weich wurde.

1) Block, Die Ausnutzung der Wasserkräfte im oberen Quellgebiet der Weser, Zeitschrift für Bau-

Abb. 7. Unterführung der Friedrich-Wilhelmstraße in Minden. Grundriß.

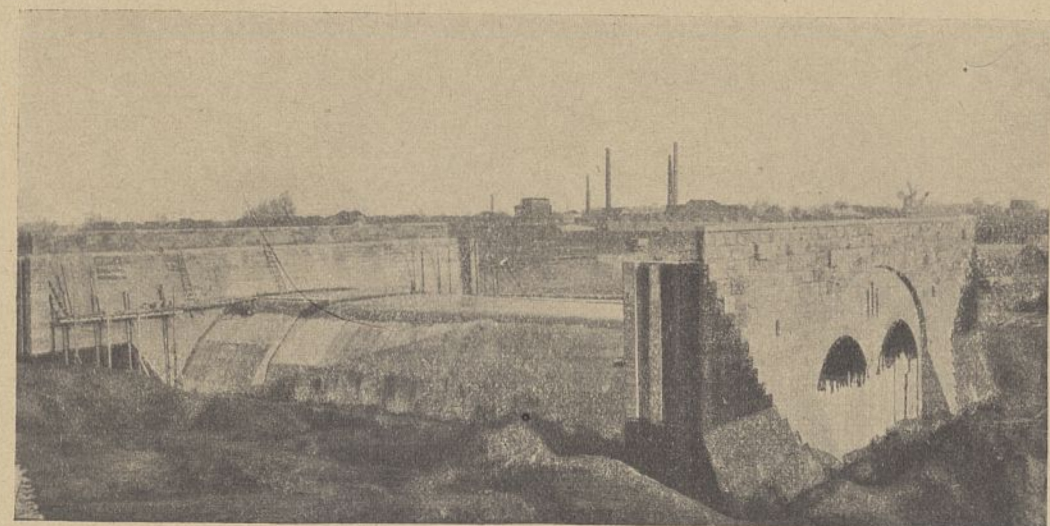


Abb. 8. Wege- und Kleinbahnunterführung. Blick nach Nord-Ost.

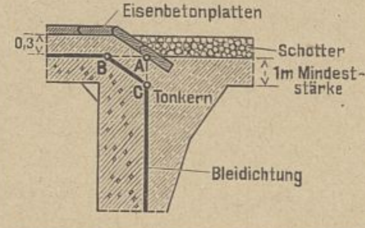
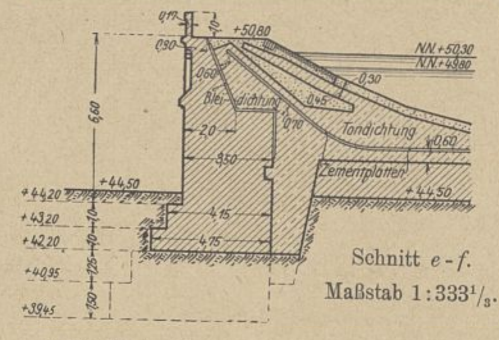


Abb. 9. Tondichtung.

In dem Hauptpumpwerk (vgl. die Abb. 1 bis 7 auf Tafel 4) sind aufgestellt vier Pumpen von je 3 cbm/Sek.-Leistung, und, um die Spitzen der verfügbaren Energiemengen ausnutzen zu können, noch eine Pumpe von 2 cbm und zwei Pumpen von je 1 cbm/Sek.-Leistung. Die beiden letzteren haben einen gemeinsamen Motor, während jede der andern Pumpen von einem besonderen Motor angetrieben wird. Bei der Größe der Pumpen war es nicht mehr angängig, die Saugrohre zum Füllen der Pumpen mit Rückschlagklappen auszurüsten. In die Pumpen wird vor dem Ingangsetzen das Wasser von unten eingesaugt, indem sie mit einer Luftpumpenanlage verbunden werden. Hat der Antriebsmotor die der Druckhöhe entsprechende Umdrehungszahl erreicht, dann schaltet der Maschinist einen Hilfsmotor ein, der den Schieber des Druckrohres öffnet, worauf die Pumpe mit der Wasserförderung beginnt. Der Saugkessel bleibt vermittels eines Luftventils

wesen 1916, S. 613 ff. und Das elektrische Pumpwerk Minden des Ems-Weser-Kanals, von Ing. K. Steinner, Berlin, in der elektrotechnischen Zeitschrift 1921, Heft 21, Seite 560.



Schnitt e-f.
Maßstab 1:333⅓.

Abb. 10. Unterführung der Friedrich-Wilhelmstraße in Minden.

auch während des Betriebes mit den Pumpen verbunden, da bei großen Pumpen das Entfernen von Luftblasen aus dem Gehäuse für den ruhigen Gang wesentlich ist.

An der Ausmündung jedes Druckrohres sitzt eine Rückschlagklappe, die beim Arbeiten der Pumpe durch ein Gewicht in solcher Lage gehalten wird, daß sie den Wasserausfluß nicht behindert, aber doch zuschlägt, wenn in dem Druckrohr oder im Pumpengehäuse ein Bruch eintreten sollte. Denn ein solcher Zufall bei gleichzeitigem Versagen der Klappe würde für das tiefliegende Maschinenhaus bei der großen Rohrweite von 1 bis 1,4 m die vollständige Überschwemmung bis zur Straßenhöhe bedeuten.

Vor den Rückschlagklappen der einzelnen Pumpen liegen, damit der Maschinist die Klappen regelmäßig nachsehen kann, eiserne Schütze, deren Unterteile aufklappbar sind für den Fall, daß der Maschinist aus Versehen eine Pumpe bei geschlossenem Schütz anlaufen lassen würde. Die Schütze dienen außerdem noch als Notverschlüsse für die Ausbesserung der Schieber der 600 mm weiten Spülleitungen, die das überschüssige Wasser des Kanals zum Spülen der Pumpenkanäle nutzbar machen.

Der Flur des Maschinenhauses mußte 3,4 m unter den höchsten Hochwasserstand der Weser gelegt werden, weil im Interesse eines guten Wirkungsgrades der großen Pumpen die Saughöhe von 4,6 m nicht überschritten werden sollte. Es wurde dadurch eine künstliche Entwässerung mittels kleiner elektrischer Pumpen, eine gegen Auftrieb biegungsfeste Sohle und darunter eine wasserdichte Auskleidung des Pumpraumes notwendig.

Die umfangreichen Schalt- und Sicherungsanlagen nebst Transformatoren für die Herabsetzung der Spannung von 43000 auf 6000 Volt, und die Nebenanlagen, wie die Batterie für die Notbeleuchtung und die Unterbringung der Wärter, erforderten ziemlich viel Raum. Dieser mußte in drei Geschossen über den Zulaufkanälen der Pumpen geschaffen werden, obwohl diese teuren Bauteile erheblich verlängert wurden, um die Schalttafeln im Interesse

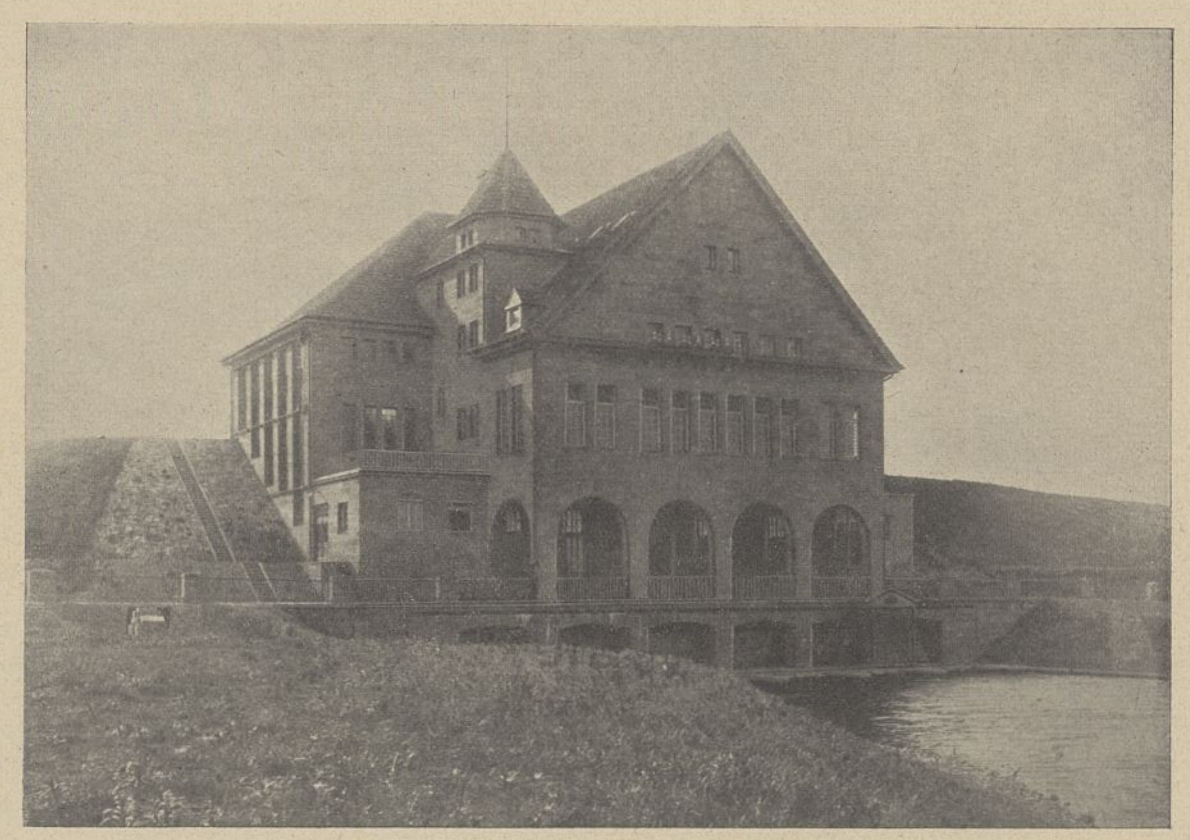


Abb. 11. Ansicht vom Unterwasser.

Abb. 12. Lageplan der Pumpwerke.

der Übersicht und der besseren Anschlüsse parallel zur Pumpenreihe aufstellen zu können.

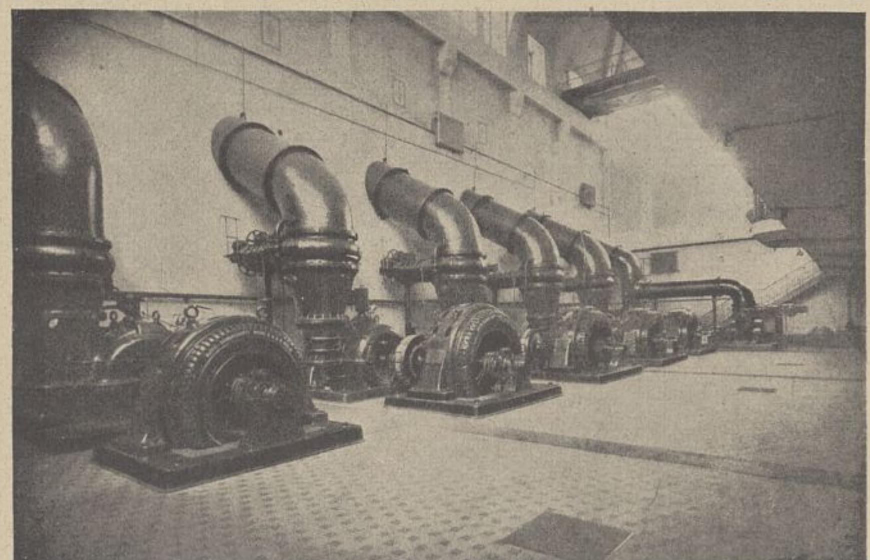
Im Hilfspumpwerk waren zwei Pumpen von je 2 cbm Sekundenleistung mit Luftpumpenanlage nebst Saugkessel und Lenzpumpe aufzustellen; jedoch war nur eine kleinere Schaltanlage erforderlich, weil der Strom mit 6000 Volt Spannung von dem nur 600 m entfernten Hauptpumpwerk zugeführt wurde. — Nachdem die Maschinenlage in dieser Weise von der Kanalbaudirektion Hannover festgelegt war, konnten die Gebäude der Pumpwerke vom Kanalbauamt Minden entworfen und die ganze Anlage zur Ausführung gebracht werden (vgl. Abb. 4 Innenansicht).

Die Lage des Hauptpumpwerkes war ziemlich genau festgelegt, weil das Ausflußrohr der Mindener Kanalisation nebst einem Wege über den Zuflußgraben in einem gemeinsamen Bauwerk zu überführen war (vgl. den Lageplan Abb. 12). Der Zuflußgraben ist an der Abzweigung von der Weser etwas stromab gebogen, damit die Strömung den in der Weser schwimmenden Unrat nicht in den Graben hineintreibt. Der Querschnitt des Zuleiters ergab sich aus der wirtschaftlichen Berechnung der Anlagekosten des Grabens und des Aufwandes an Energie für das im Graben verlorene Gefälle von 0,15 m, das bei Niedrigwasser 1 m Sek.-Geschwindigkeit erzeugt.

Der hochliegende Verbindungsgraben zwischen dem Pumpwerk und dem Kanal wurde zu einem Beruhigungsbecken erweitert. Die entstehende Querströmung an der Mündung wird bei vollem Betriebe des Pumpwerkes 0,09 m in der Sekunde nicht überschreiten, ist also ohne Nachteil für die Steuerung der vorbeifahrenden Schiffe.

Das Wasser muß, bevor es zu den Pumpen gelangt, Rechen von 25 mm Lichtweite durchströmen, die Unrat und Fische zurückhalten. Zum Reinigen können die Rechen, wenn das einfache Abkratzen nicht mehr ausreicht, mittels eines fahrbaren Kranes hochgezogen werden, auch ermöglichen die vorerwähnten 600 mm weiten Spülleitungen ein Spülen der Rechen von der Rückseite.

Da der Baugrund aus felsartigem Schieferton bestand, war die Gründung des Pumpwerks recht einfach. Die Baugrube wurde mittels eines Trockenbaggers ausgehoben und dann ausgepumpt. Das ganze Gebäude ist mit den Dachbindern der Maschinenhalle in Eisenbeton ausgeführt, also ganz feuersicher. An den nicht mit Erde bedeckten Außenflächen der Wände ist das Gebäude mit rotem Pfälzer Sandstein verblendet.


Abb. 13. Innenansicht des Pumpwerkes.

Die Sohle der Pumpenkanäle war biegungsfest zu gestalten, damit bei einer Untersuchung oder Ausbesserung der Pumpen jeder Pumpenkanal nach dem Einsetzen der Dammbalken trocken gelegt werden kann.

Eine kräftige Bewehrung war für den Maschinenflur erforderlich, weil dieser bei Hochwasser einen Unterdruck von 3,4 m erhält.

Die Dichtung des Pumpwerks besteht, soweit sie vom Oberwasserdruck erreicht wurde, aus Blei von 1,5 mm Stärke. Die einzelnen Bleitafeln wurden mittels des Wasserstoff-Sauerstoffgebläses miteinander verschweißt und beiderseits mit Asphaltpappe beklebt. Besondere Aufmerksamkeit erforderte der Anschluß der Bleidichtung an die zahlreichen Rohre, die die Dichtung durchdrangen. Das sicherste Verfahren besteht in dem Einpressen und Verstemmen etwa 10 mm starker Bleiringe zwischen sauber abgedrehten Flanschen und Anschweißen der Bleihaut an diese Ringe. Die Dichtung gegen das Hochwasser der Weser hat etwa 4 m Überdruck auszuhalten und besteht aus drei Lagen Asphaltpappe, die mit Goudron aufgeklebt, miteinander verklebt und gestrichen wurden.

An den Außenflächen, wo die Tondichtung des Kanaldammes mit der Dichtung des Pumpwerks in Verbindung gebracht


Abb. 14. Ansicht vom Oberwaeser, Beginn der Kanalfüllung.

werden mußte, sind Falze und Vorsprünge aus Beton angebracht, um die Bildung von Wasseradern zu erschweren, die bei dem Wasserstandsunterschied von 13 m dem Damm gefährlich werden könnten.

An dem Bau beteiligt waren für die Unterbauten und das Gebäude die Firma Otto Flügel, Mülheim a. d. Ruhr, für die Dichtung die Weber-A.-G., Leipzig, für die Pumpen von 3 cbm Leistung die Maschinenfabrik Cyklop, Berlin, für die von 2 cbm Leistung und die Motoren die Maffei-Schwartzkopff-Werke, Berlin, für die Schaltanlage die Voigt u. Häffner A.-G., Frankfurt a. Main.

Die Kosten betrugen:

für eine 3 cbm-Pumpe nebst Motor je . . 35350 M.,
„ „ 2 „ „ „ „ „ . . 26000 „
„ die Schaltanlage . . . . 46000 „
„ „ Maschinenanlage für 20 cbm/Sek.-
Leistung beider Pumpwerke . . . . . 406000 „ .

V. Die Sperrtore des Ems-Weser-Kanals.[1])

Vom Oberbaurat Loebell in Hannover.

Um in Fällen der Gefahr oder für Ausbesserungsarbeiten einzelne Kanalstrecken abzuschließen und trocken legen zu können, sind sieben Sperrtore vorgesehen, von denen eins den Dortmund-Ems-Kanal und je zwei die Täler der Hase, der Weser und der Leine sichern. Diese Tore sollten bei 24 m Lichtweite, 3,20 m Stauhöhe und 4,20 m Durchfahrtshöhe den Kanal nach beiden Seiten sperren können. Beiderseits war das Durchfahrtsprofil den für später in Aussicht genommenen elektrischen Treidellokomotiven freizuhalten. Die Tore sollten geöffnet mit allen Teilen über Wasser liegen und im Falle der Gefahr von einem Mann in fünf Minuten geschlossen werden können.

Abb. 15. Bewegungsvorrichtung des Sperrtores.

Nach diesen Forderungen war ein Hubtor zu wählen; Segmenttore, wie sie am Dortmund-Ems-Kanal mit 18 m Durchfahrtsweite vorhanden sind, und Walzentore wären erheblich schwerer zu bewegen gewesen und teurer ausgefallen. Bei den Segmenttoren ist das Ausgleichen des Auftriebes bei eintauchendem Tor umständlich, während bei den Walzentoren noch die verlangte Unterbrechung der Führungsschienen für die Treidelleine die Bauart verteuert und weniger eineinfach gestaltet (s. Abb. 15).

Die Torhaut der gewählten Bauart besteht aus 5 mm starken Buckelblechen. Das Torgerippe ist ein vierseitiges, durch Gitterträger gebildetes Prisma. Die Festigkeitsberechnungen entsprechen den Vorschriften für den Bau eiserner Brücken. Der Wasserdruck auf das Tor durfte Spannungen bis 900 kg/qcm erzeugen, während die Seilscheibengerüste ohne Wind bis 1000 und mit Wind bis 1200 kg/qcm beansprucht werden. An den Enden der Tore übertragen die beiden wagerechten Träger des Tores den Wasserdruck von 108 t auf das geschlossene Tor durch vier kräftige Stützrollen mittels Führungsschienen aus Stahlguß auf das Mauerwerk. Über diesen Rollen sind beiderseits noch zwei Führungsrollen vorgesehen, damit das Tor auch dann durch mindestens zwei Rollen gegen Seitenkräfte gestützt wird, wenn es sich über die Lücke in den Führungsschienen zum Durchlassen der Schlepptrossen später eingeführter elektrischer Lokomotiven bewegt. In der Querrichtung des Kanals sind aus dem gleichen Grunde an jedem Torende zwei Rollen vorgesehen, von denen je eine zur Führung genügt.

Die Dichtung des Tores gegen die Sohle bewirkt eine Holzleiste, während an den Seiten je eine bewegliche eiserne Nadel den dichten Anschluß an die Seitenmauern bewirkt.

Das Tor hängt in Drahtseilen, die nur mit $^1/_{10}$ der Bruchlast beansprucht werden. Eine weitere Sicherheit gegen Herabfallen des Tores bietet eine Verriegelung, die mit dem Durchfahrtssignal gekuppelt ist. Diese Verriegelung ist für das ganze Torgewicht von 38 t bemessen, damit sie zum Auswechseln der Seile benutzt werden kann. Zum Auswechseln wird das schadhafte Seil bei verriegeltem Tor durch Anheben des zugehörigen Gegengewichtes mit einer Schraubenwinde entlastet (s. Abb. 16).

Das Gegengewicht von 38 t ist in drei Teile zerlegt; je $^1/_3$ wird auf jeder Kanalseite mittels zweier Umlenkrollen mit einem Torende verbunden. Das übrigbleibende Drittel dient als Treibgewicht und zwar, obwohl es auf einer Kanalseite angebracht ist, für beide Torenden, mit denen es durch je zwei Seile verbunden ist. Zwei Seile, die etwa je 3 t aufzunehmen haben, sind mithin über den Kanal zu spannen. Die vier Treibseile laufen über zwei zusammengekuppelte Trommeln. Beim Drehen dieser Trommeln bewegen sich also beide Torenden gleichmäßig und auch zwangläufig, weil die Treibgewichte einen Teil des Torgewichtes aufheben, der größer ist als der größte vorkommende Bewegungswiderstand.

Die Seiltrommeln sind an dem einen Ende, wo die vier Seile der Treibgewichte sich aufwickeln, kegelförmig gestaltet, um den Auftrieb des eintauchenden Tores auszugleichen. Der Neigungswinkel dieser Kegel bestimmt sich aus der Beziehung, daß der wirksame Durchmesser der Seiltrommeln sich in entsprechendem Maße vermindert, wie das Tor in das Wasser eintaucht und an Gewicht verliert. Bei kleineren und leichteren Toren, wie z. B. für Schleusen, genügt eine Trommel. Hier sind zwei Trommeln angewendet, um zwischen den Seilen zum Unterbringen der Gegengewichte den er-

1) Siehe auch Abb. 1 S. 274, Z. f. B. 1920, Text Progasky „Kanalanlagen bei Hannover“.

Pumpwerk auf dem linken Weserufer
für eine Leistung von 16 cbm/sek.

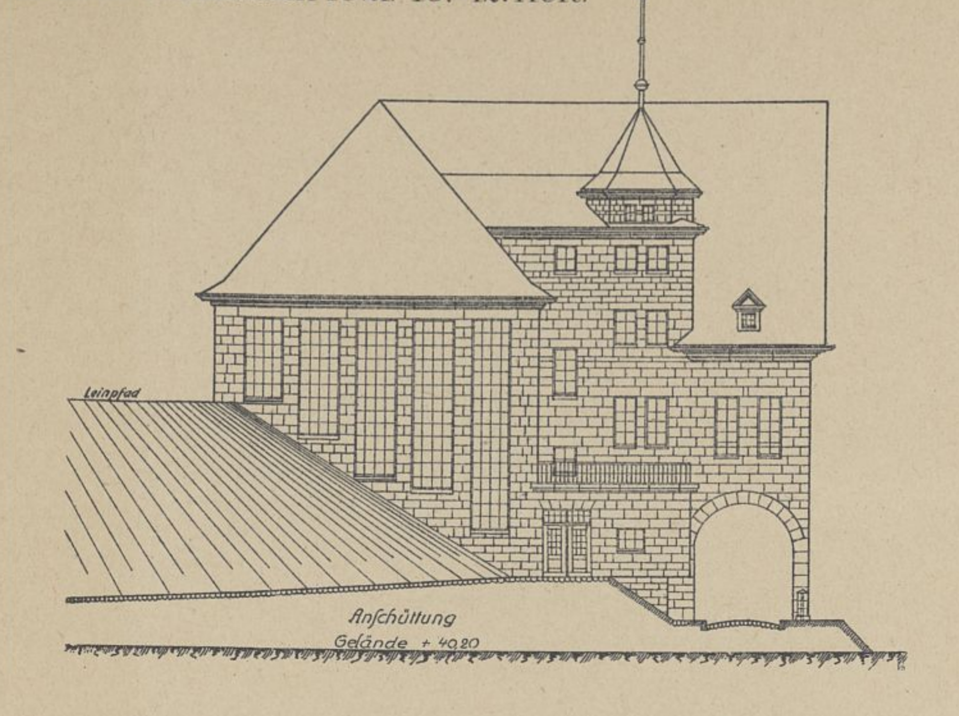


Abb. 1. Ansicht von Süden.

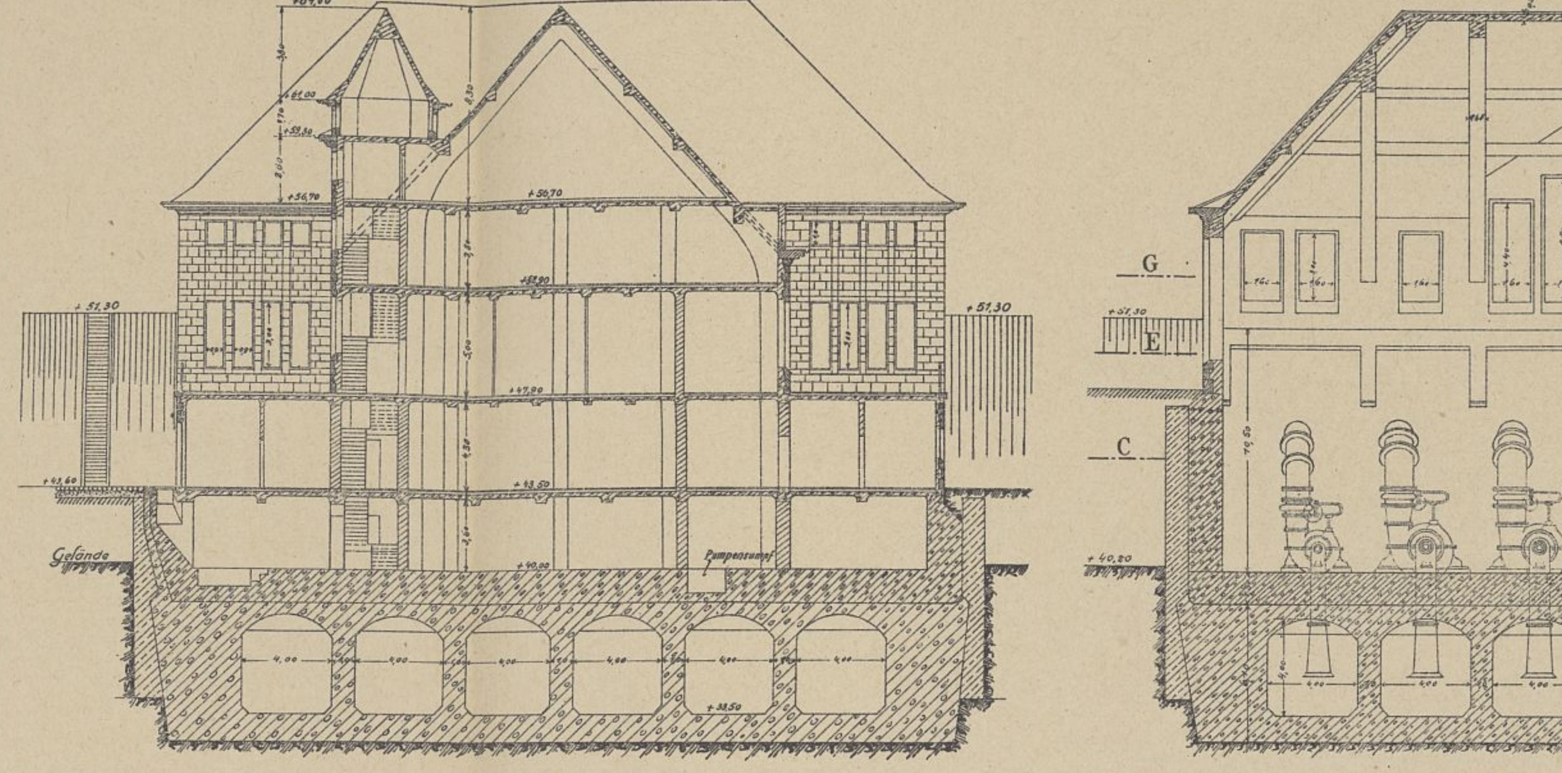
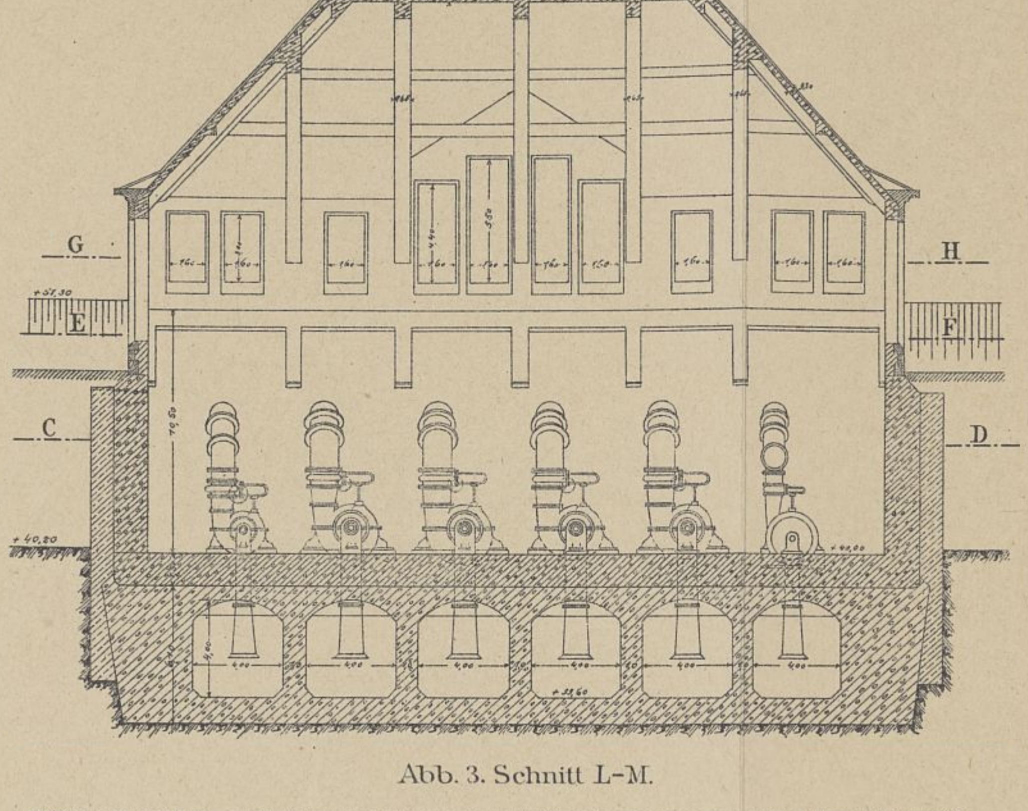


Abb. 2. Schnitt J-K.



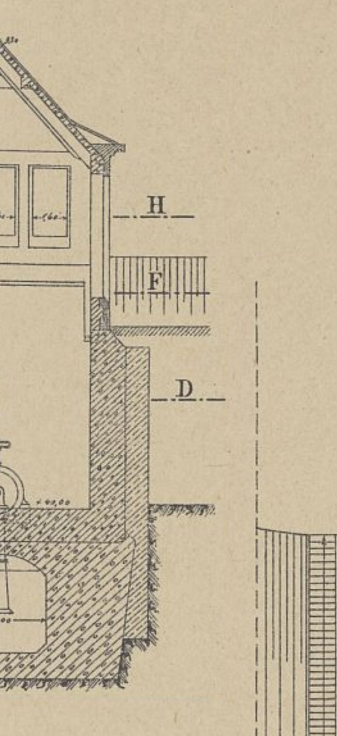


Abb. 3. Schnitt L-M.

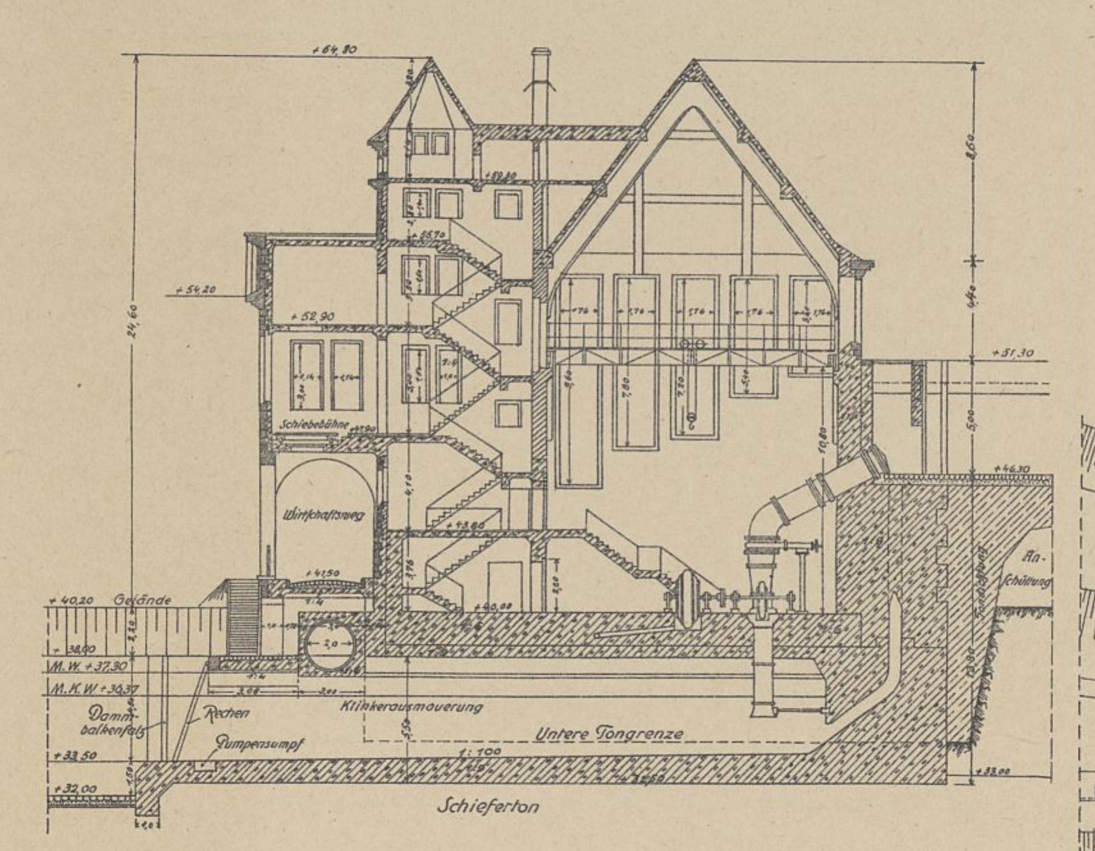


Abb. 4. Schnitt O-P.

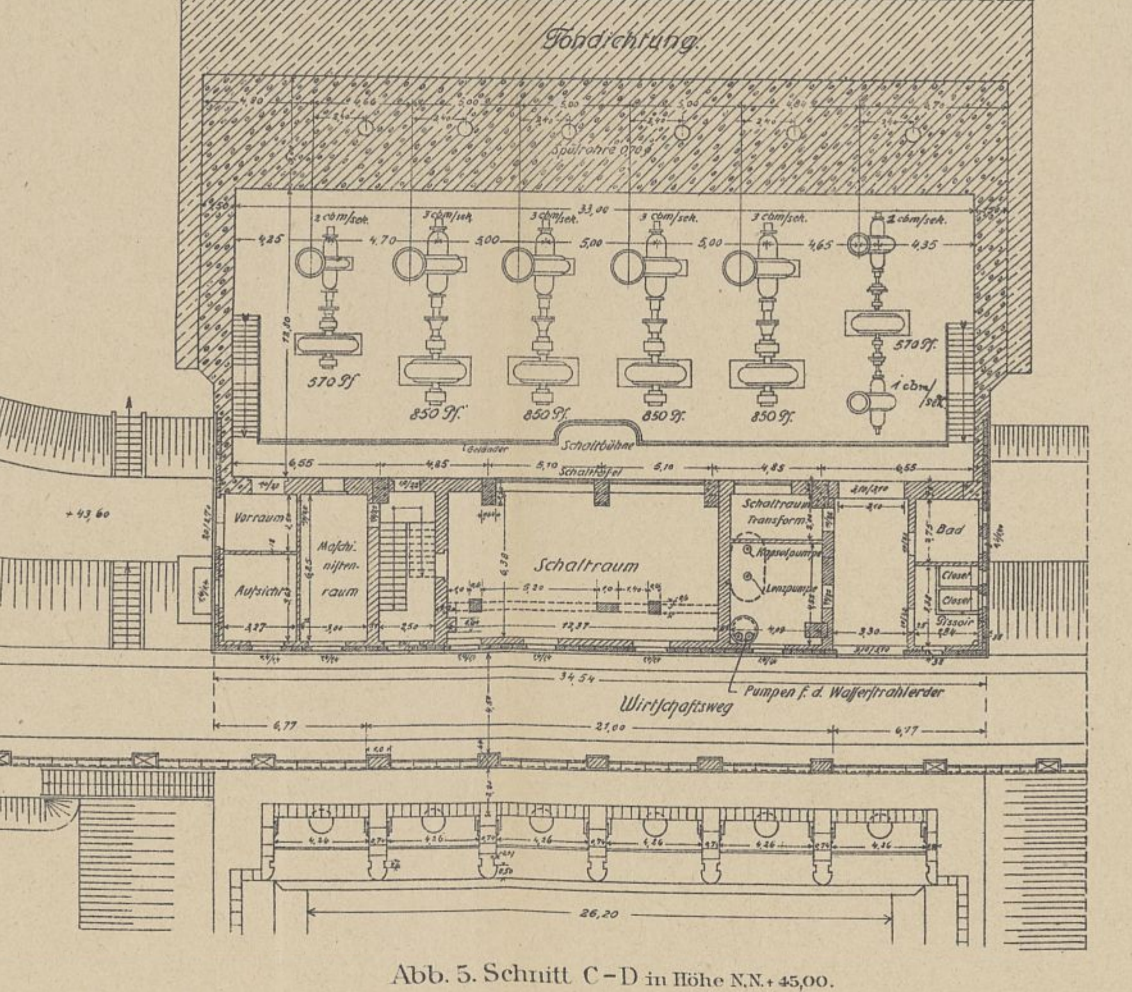
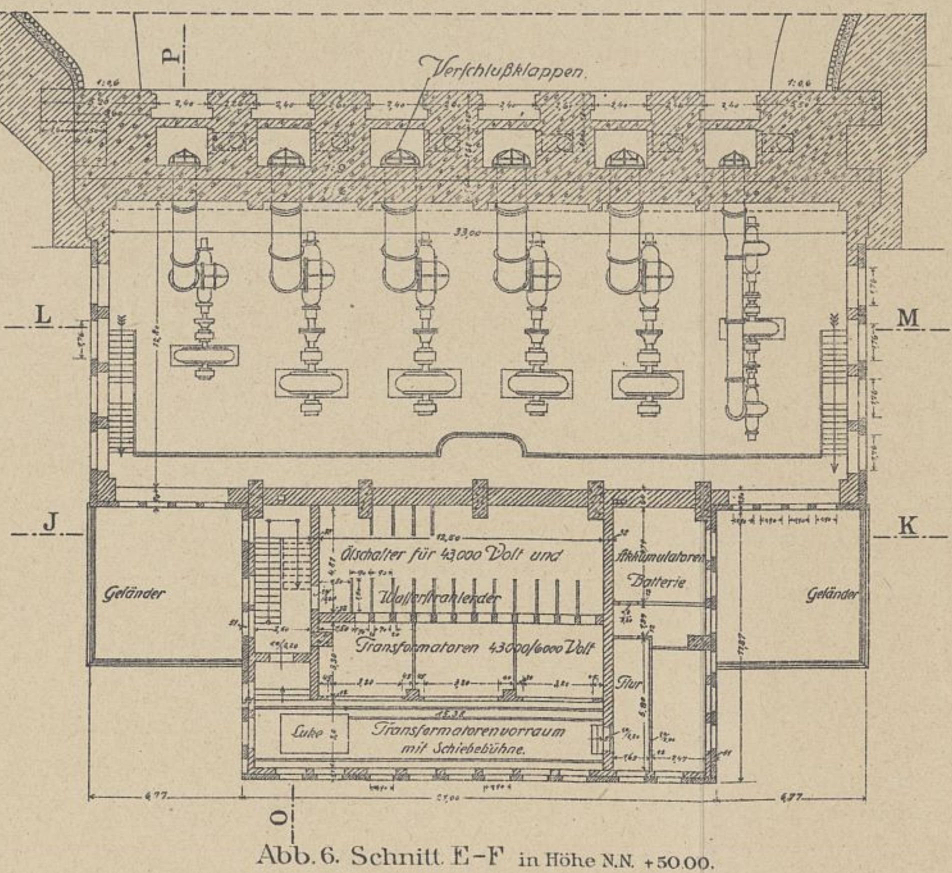


Abb. 5. Schnitt C-D in Höhe N.N. + 45,00.



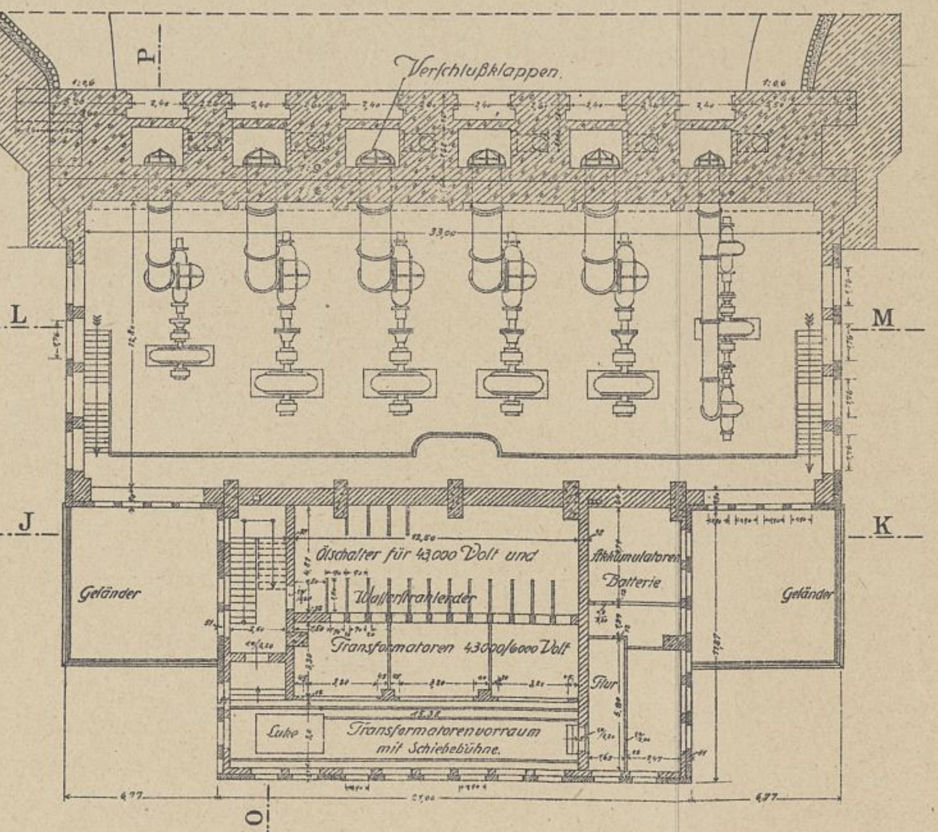
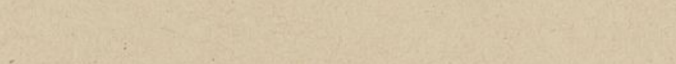


Abb. 6. Schnitt E-F in Höhe N.N. + 50,00.

Abb. 7. Schnitt G-H in Höhe N.N. + 53,00.



1 : 333 1/3.

Verlag von Wilhelm Ernst u. Sohn, Berlin.

forderlichen Platz zu gewinnen. Die Trommelhälften sind mit einem Windwerk verbunden, in das eine Sicherheitsbremse eingebaut ist, die ein für die Bedienungsmannschaften gefährliches Voreilen der Kurbeln verhindert. Es sind zwei Vorgelege und ein Wechselgetriebe mit drei Übersetzungen vorhanden. Bei der kleinsten Übersetzung sind 137, bei der größten 411 Umdrehungen zum Heben oder Schließen des Tores erforderlich.

Gegen das Bewegen des Tores in stehendem Wasser wirkt ein Gesamtreibungswiderstand von 1070 kg, verursacht durch die Reibung an den Zapfen der Seilscheiben und Trommeln, sowie durch die Steifigkeit der Seile und ihr Übergewicht in den Endstellungen. Wird das Tor gegen 0,50 m Überdruck geöffnet, dann steigt der Widerstand auf 1520 kg, während 2620 kg zu überwinden sind, wenn das Tor gegen 3 m Wasserdruck zum Füllen der entleerten Haltung etwas angehoben werden soll.

Abb. 16. Das Sperrtor bei Noreka.

Damit ein Mann — entsprechend der eingangs aufgestellten Forderung — das Tor in fünf Minuten herunterdrehen kann, wozu 137 Umdrehungen notwendig sind, ist der erwähnte Widerstand von 1070 kg aufgehoben durch ein entsprechendes Übergewicht des Tores.

Für das Heben der Tore steht im allgemeinen mehr Zeit zur Verfügung. Um auch diese Bewegung nach Bedarf beschleunigen zu können, sind auf den Treibgewichten Wasserkästen vorgesehen, die aus einem Hochbehälter mit etwa 4300 kg Wasser gefüllt werden können, wodurch die Widerstände auch gegen das Heben aufgehoben werden. Aber benutzt wird diese Anlage nicht mehr, da im Zeitalter der Maschinen eine längere mechanische Arbeit, wie sie das Aufpumpen von 4300 Liter Wasser auf 15 m Höhe mit Membranhandpumpen darstellt, nicht beliebt ist. Außerdem versagt die Anlage bei Frost. Daher werden die Tore in der Regel ohne Wasserballast gehoben, wozu vier Mann etwa 15 Minuten kurbeln müssen. Eins der sieben Sperrtore hat inzwischen elektrischen Antrieb, ein anderes einen Benzolmotor erhalten, wodurch die Zeit für das Heben oder Senken auf etwa $1^1/_4$ Minuten herabgemindert worden ist.

Es war nicht möglich, die Sperrtore, wie es beim Hohenzollernkanal[1]) geschehen ist, mit Brücken über den Kanal zu vereinigen. Jedes Sperrtor bildet daher ein selbständiges Bauwerk.

Der Entwurf für die Sperrtore wurde im Bauamt Minden vom Verfasser aufgestellt.

Der zugezogene Architekt hat die Aufhängung der Tore an Kragarmen in der Architektur nach dem Vorbild des alten Danziger Krantores zum Ausdruck gebracht. Der westfälische Schiefer der Dachbekleidung paßt gut zur Verblendung des Unterbaues mit dem Bruchstein der Weserberge.

Die Unterbauten der Sperrtore sind in den verschiedenen Bauämtern durch die dort beschäftigten Unternehmer ausgeführt. Die Herstellung der sieben Überbauten hatte die Firma Gebauer als Mindestfordernde bei einer öffentlichen Verdingung übernommen.

Eine Toranlage kostet etwa	102 000 M.
Davon entfallen:	
auf die Eisenkonstruktionen	20 000 M.
auf die Maschinenteile und Gegengewichte .	21 000 M.
und auf die Seile, welche von der Firma Gebauer in Berlin geliefert wurden	500 M.

1) Zeitschrift für Bauwesen 1914, S. 190.

Verwendung von Hebern im Schleusenbetrieb.

Vom Regierungs- u. Baurat a. D. Gröhe† in Charlottenburg.

1. Einleitung. Von den Vorrichtungen zum Füllen und Entleeren von Schleusen hat die Verwendung von Hebern bisher nur in sehr beschränktem Maße stattgefunden. Außer den Schleusen des Elbe-Trave-Kanals sind, soweit mir bekannt, nur die zweiten Schleusen der Spree-Oder-Wasserstraße bei Wernsdorf, Kersdorf und Fürstenberg a. O., sowie die Doppelschleuse bei Machnow im Zuge des Teltow-Kanals mit Hebern zur Füllung und Entleerung der Kammern oder zum Sparbetrieb ausgerüstet worden. Die allgemeine Anordnung und Wirkungsweise der Heber beim Schleusenbetriebe darf mit

Rücksicht auf die bereits erfolgten Veröffentlichungen, namentlich über die Heberschleusen des Elbe-Trave-Kanals, sowie über den Bau zweiter Schleusen bei Wernsdorf und Kersdorf (Oder-Spree-Kanal, Zeitschrift für Bauwesen 1909), als bekannt vorausgesetzt werden.

Die Vorzüge des Heberbetriebs bestehen vorwiegend in dem dichten Abschluß gegen das Oberwasser, also in der sicheren Vermeidung von Wasserverlusten und in den sehr geringen Betriebs- und Unterhaltungskosten, wie später noch nachgewiesen werden wird. Von besonderer Wichtigkeit ist die Tatsache, daß sich die Heber z. B. auch an den Schleusen des Oder-Spree-Kanals in einer Betriebszeit von rund 15 Jahren in tadelloser Weise bewährt haben. Der Betrieb ist durch Frost niemals erheblich behindert worden. Die Steuerhähne bedurften trotz des lebhaften Verkehrs keiner Ausbesserung. Die Bedienung der Heber wurde selbst bei Anwendung des Sparbetriebs durch einfache Arbeiter in zuverlässiger Weise gehandhabt. Die Arbeiter wurden sehr bald mit den nur anscheinend verwickelten Maßnahmen so vertraut, daß sie auch die dynamische Wirkung der laufenden Heber zum Ansaugen der ruhenden Heber und der Saugglocke durch Beobachtung der Luftspannungsmesser, über die damalige Voraussetzung hinaus, vortrefflich auszunutzen verstanden. Es kann also auch die Sicherheit des Betriebes unter schwierigen Verhältnissen gewährleistet werden.

Trotz dieser unbestreitbaren Vorzüge haben die Heber gegenüber den bisher angewandten Schützkonstruktionen wenig Eingang gefunden, weil die Anwendung der Heber noch einem starken Mißtrauen begegnet, das nur zum Teil seinen Grund im System der Heber selbst hat, wenn auch einzelne Nachteile dieses neuen Systems noch nicht ganz behoben sind. In dieser Beziehung ist folgendes anzuführen:

1. Die Wirkungsweise von Hebern im Betrieb von Schleusen ist theoretisch anscheinend nicht so einfach zu begründen, wie bei Schützen. Zwar ist der Vorgang der Heberwirkung an sich sehr klar und verständlich, anderseits sind aber die Wirkungen des in den Hebern absinkenden bzw. des in den Hebern strömenden Wassers in bezug auf das Ansaugen von Luft durch lange Leitungen für den Betrieb der Heber und der Saugglocken rechnungsmäßig nur wenig untersucht worden. Man ist also der Hauptsache nach auf die bisher im Betriebe gemachten Erfahrungen angewiesen.

2. Bei Anordnung von Sparbecken zur Wasserersparnis bzw. bei Benutzung von nebeneinanderliegenden Schleusen zum Sparbetrieb tritt der Übelstand auf, daß das Ansaugen der Unterheber, um den Rest der Kammerfüllung in das Unterwasser zu entleeren, mehr Zeit und Kraft erfordert als beim einfachen Schleusenbetrieb.

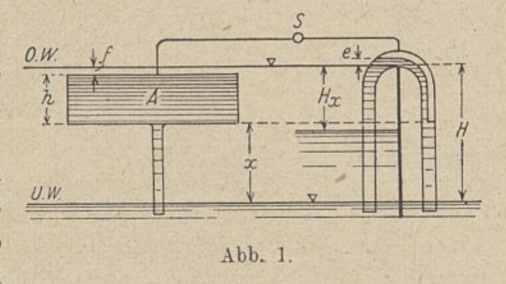


Abb. 1.

Es ergibt sich dies daraus, daß ohne Sparbetrieb beim Füllen und Entleeren der Kammer die Ober- bzw. Unterheber nur um ein geringes Maß angesaugt zu werden brauchen, während beim Sparbetrieb bei zum Teil abgelassener Kammer sich dieses Maß um die Größe der Absenkung des Wassers in der Kammer erhöht (Abb. 1). Falls zum Ansaugen der Unterheber eine Saugglocke A benutzt werden soll, die wenigstens im Notfall aus dem Oberwasser nachgefüllt werden kann, so muß der höchste Wasserspiegel in der Glocke, um die Zeit der Füllung zu ermäßigen, um ein bestimmtes Maß f unter dem Oberwasserspiegel liegen. Der niedrigste Wasserspiegel in der Saugglocke ist dadurch bestimmt, daß nach dem Ansaugen der Unterheber auf die volle erforderliche Höhe die in der Saugglocke aufgehängte Wassersäule mindestens noch der in den Unterhebern aufgehängten Wassersäule $x = H_x + e$ statisch das Gleichgewicht halten oder mit anderen Worten, die dazu erforderliche Luftspannung p_x erzeugen muß.

Da die von den Unterhebern anzusaugende Wassermenge um so beträchtlicher wird, je mehr Wasser beim Schleusenbetrieb erspart werden soll, und da die verfügbare Höhe h der Saugglocke zum statischen Ansaugen der Heber durch die Saugglocke, wie aus Abb. 1 ersichtlich, im allgemeinen beschränkt ist, so ergibt sich für die Saugglocke beim Sparbetrieb eine große Grundfläche, falls nicht besondere Hilfseinrichtungen zur Verkleinerung der Saugglocke getroffen werden können.

3. Der Steuerapparat beim Sparbetrieb wird um so verwickelter, je mehr die dynamische Wirkung der laufenden Heber ausgenutzt werden muß, um die Saugglocke während des Betriebes voll nachzufüllen, weil dann zwischen den Oberhebern, den Unterhebern, den Verbindungshebern, der Saugglocke und der Außenluft durch Anordnung von Saugleitungen und besonderen Steuerhähnen Verbindungen geschaffen werden müssen. Bei den bisher ausgeführten Anlagen ist es, soweit mir bekannt, nicht immer gelungen, bei weitgehendem Sparbetrieb die Saugglocke in voller Höhe durch die laufenden Heber nachzusaugen, so daß die zeitraubende und unbequeme Nachfüllung aus dem Oberwasser bzw. die Zuhilfenahme besonderer Saugapparate nicht entbehrt werden konnte.

4. Die Verwendung von Hebern ist an die praktisch erreichbare Saughöhe gebunden und somit für sehr große Schleusengefälle (Schachtschleusen) nicht ohne weiteres möglich. Eine Staffelung von Hebern zur Überwindung größerer Gefälle ist zwar durchführbar, aber abgesehen von der Höhe der Kosten auch wegen der Betriebsschwierigkeiten nicht zu empfehlen.

Bei sehr geringen Gefällen, wie sie namentlich an Endschleusen bei der Ausmündung von Kanälen in Flüsse und bei Schleusen in kanalisierten Flüssen vorkommen, ist die Anwendung von Hebern nur unter Zuhilfenahme besonderer Saugvorrichtungen zu erreichen. Da solche sehr kleinen Gefälle meist nur selten eintreten, so kann ein erheblicher Übelstand für den Heberbetrieb darin wohl kaum erblickt werden, namentlich dort, wo auf Wasserersparnis während des Betriebes besonderer Wert gelegt werden muß. Von diesen Ausnahmefällen abgesehen, bleibt also die Verwendung von Hebern noch innerhalb weiter Grenzen möglich.

5. Um die Heber mit möglichst dichten Wandungen auszuführen und damit das erforderliche Ansaugen auf alle Fälle sicherzustellen, hat man bislang die Heber ganz oder doch zum größten Teil in Eisen zur Ausführung gebracht, wodurch die Ausführungskosten wesentlich erhöht wurden.

6. Für die Anwendung von Saugglocken mußten früher sehr erhebliche Lizenzgebühren für die Patente gezahlt werden,

die z. B. für die drei Schleusen bei Fürstenberg 36000 Mark betrugen. Diese Patente sind jetzt erloschen und somit ein wesentliches Hindernis für die Anwendung von Hebern in Fortfall gekommen.

Im folgenden sollen an der Hand einfacher mathematischer Entwicklungen die bei Anwendung von Hebern für den Schleusenbetrieb in Betracht kommenden Vorgänge erörtert und im Anschluß hieran einige Vorschläge besprochen werden, um nachzuweisen, daß die Anwendung von Hebern gegenüber anderen Vorrichtungen in vielen Fällen sehr erhebliche Vorteile bietet. Die Bestimmung der Saugspannungen und der Saughöhen, sowie der Arbeitsleistungen ist dabei absichtlich etwas ausführlicher behandelt, weil nach meinen Erfahrungen es namentlich an einer übersichtlichen Darstellung der beim Heberbetrieb sich abspielenden Vorgänge fehlte und gerade in dieser Beziehung das Bedenken zerstreut werden muß, daß die Berechnung der Heber mit besonderen Schwierigkeiten verknüpft ist.

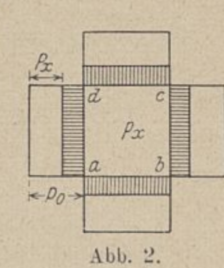


Abb. 2.

Sehr bemerkenswerte, genauere theoretische Untersuchungen über das Hebersystem, auch in bezug auf die dynamische Wirkung der laufenden Heber, sind in der vortrefflichen Abhandlung des Dr.-Ing. Havestadt „Über die Verwendung von Heberverschlüssen bei Kammerschleusen" (Berlin, Verlag von Wilhelm Ernst u. Sohn, 1908) gegeben.

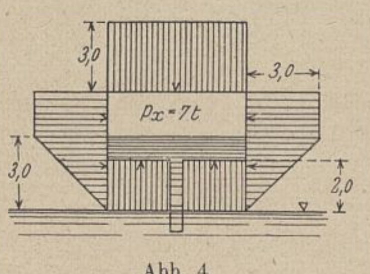
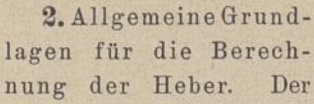
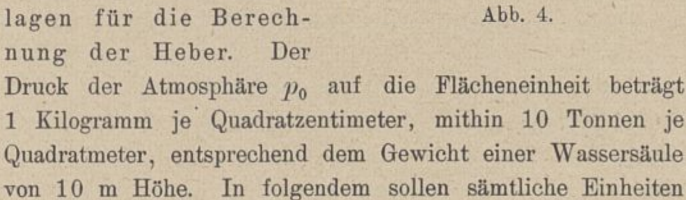


Abb. 4.



2. Allgemeine Grundlagen für die Berechnung der Heber. Der Druck der Atmosphäre p_0 auf die Flächeneinheit beträgt 1 Kilogramm je Quadratzentimeter, mithin 10 Tonnen je Quadratmeter, entsprechend dem Gewicht einer Wassersäule von 10 m Höhe. In folgendem sollen sämtliche Einheiten auf Meter und Tonnen bezogen werden.



Herrscht in dem geschlossenen Gefäß $abcd$ (Abb. 2) ein Druck p_x, der kleiner ist als der Atmosphärendruck p_0, so ergibt sich der Überdruck auf die Gefäßwandungen $= p_0 - p_x$ (schraffierte Flächen). Ist in einem Gefäß (Abb. 3), welches in eine Flüssigkeit eintaucht, eine Verdünnungsspannung p_x erzeugt und dadurch die Flüssigkeit um die Höhe x in dem Gefäß aufgestiegen, so besteht für die Flächeneinheit die Gleichung $p_0 = p_x + \gamma_x$ oder $p_0 - p_x = \gamma_x$ oder $p_x = 10 - \gamma_x$, worin γ das spezifische Gewicht der Flüssigkeit bedeutet. Für Wasser wird also $p_x = 10 - x$ in Tonnen. Der Buchstabe x ist später auch für Längenmaße angewendet; doch dürfte dies zu Irrtümern kaum Veranlassung geben. Danach stellen sich z. B. die Beanspruchungen der Gefäßwände in einer Saugglocke mit Steigrohr, wenn in der Glocke eine Verdünnungsspannung $p_x = 7$ Tonnen qm, entsprechend einer gehobenen Wassermenge von 3 m Höhe herrscht, wie die schraffierten Flächen in Abb. 4 dar. Der Druck auf die Bodenfläche der Glocke beträgt also bei einer angenommenen Höhe des Bodens von 2 m über Wasserspiegel $p_0 - (p_x + 1)$ $= 2$ Tonnen. Die Seitendrücke nehmen von $p_0 - p_x =$ 3 Tonnen bis auf Null ab.

3. Ausgleich der Saughöhen zwischen zwei Gefäßen mit verschiedener Spannung (Luftverdünnung). Nach dem Mariotteschen Gesetz ist allgemein $V_0 \cdot p_0 = V_x \cdot p_x = C$. Das Produkt aus Luftinhalt mal Spannung ist also konstant. Dabei ist vorausgesetzt, daß die Temperatur bei der Zustandsänderung dieselbe bleibt = Isothermische Zustandsänderung (vgl. Hütte).

Für die Zustandsänderung ohne Zu- und Abfuhr von Wärme: Adiabatische Zustandsänderung ist $V_0 \cdot p_0^n = V_x \cdot p_x^n$, wobei für Luft $n = 1{,}4$ gesetzt werden kann.

Vorläufig soll nur die isothermische Zustandsgleichung zugrunde gelegt werden.

Die beiden Gefäße I und II (Abb. 5) mit einem Luftinhalt V_1 und V_2 — vom Wasserspiegel gerechnet — seien durch ein Rohr von sehr kleinem, zu vernachlässigendem Querschnitt, welches durch den Hahn S abgesperrt werden kann, miteinander verbunden.

Abb. 3.

Bei geschlossenem Hahn sei im Gefäß I durch Luftverdünnung eine Spannung p_x, im Gefäß II von p_y erzeugt, wobei das Wasser bis zur Höhe x bzw. y aufgestiegen ist. Angenommen sei ferner, daß Luftverdünnung $p_x > p_y$, also $x > y$.

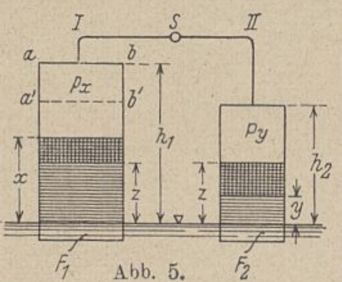


Abb. 5.

Denkt man sich nun unmittelbar unter dem Deckel ab des Gefäßes I eine dünne Kolbenscheibe angebracht, welche durch irgendeine Vorrichtung bei der Verdünnung im Gefäß I in der Lage ab festgehalten, dann aber nach Öffnung des Hahnes S freigelassen wird, so muß sich die Scheibe beim Ausgleich der Spannungen so lange abwärts bewegen, bis in der Lage $a'b'$ in beiden Gefäßen die gleiche Spannung p_z entsprechend den gleichen Wasserstandshöhen z herrscht. Bezeichnet man mit V_z' den neuen Rauminhalt im Gefäß I vom gehobenen Wasserspiegel bis zum Kolben, mit V_z'' den neuen Rauminhalt hinter dem Kolben, bis zum gehobenen Wasserspiegel im Gefäß II gerechnet, so gilt für jeden Raum für sich das Mariottesche Gesetz vor und nach der Ausdehnung

$$V_x \cdot p_x = V_z' \cdot p_z$$
$$V_y \cdot p_y = V_z'' \cdot p_z$$
$$\overline{V_x \cdot p_x + V_y \cdot p_y = V_z' \cdot p_z + V_z'' \cdot p_z,}$$

woraus, wenn unter V_z der gesamte Luftinhalt in beiden Gefäßen nach dem erfolgten Spannungsausgleich verstanden wird, sich die **Grundgleichung** ergibt

$$\mathbf{V_x \cdot p_x + V_y \cdot p_y = V_z \cdot p_z} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

Beim Spannungsausgleich zwischen zwei Gefäßen mit verschiedener Spannung ist also die Summe der Produkte aus den Lufträumen mal den Spannungen vor dem Spannungsausgleich gleich dem Produkt aus dem gesamten Luftraum mal Spannung nach dem Spannungsausgleich.

Wenn man vorläufig für beide Gefäße einen gleichförmigen Querschnitt F_1 und F_2 annimmt, so ist

$$V_z = (V_1 + V_2) - (F_1 + F_2) \cdot z.$$

Wird dieser Wert in die Gleichung eingeführt und $p_z = 10 - z$ gesetzt, so ist

$$V_x \cdot p_x + V_y \cdot p_y = [(V_1 + V_2) - (F_1 + F_2) \cdot z]\,(10 - z),$$

daraus
$$z = \underbrace{5 + \frac{V_1 + V_2}{2(F_1 + F_2)}}_{a} - \sqrt{a^2 - \left[\frac{10(V_1 + V_2) - (V_x \cdot p_x + V_y \cdot p_y)}{F_1 + F_2}\right]} \quad . . 2)$$

Aus Gleichung 2) kann bei bekannten Spannungen p_x, p_y bzw. Saughöhen x und y der Wert z berechnet werden.

Falls Gefäß II vor der Verbindung mit I die Spannung p_0 = Atmosphärenspannung besaß, also $p_y = p_0$ und $V_y = V_2$,

so wird $$z = \underbrace{5 + \frac{V_1 + V_2}{2(F_1 + F_2)}}_{a} - \sqrt{a^2 - \left(\frac{10\,V_1 - V_x \cdot p_x}{F_1 + F_2}\right)}.$$

War das Gefäß I vor der Verbindung völlig gefüllt und II unter Luftspannung p_0, so wird $V_x = 0$ also $V_x \cdot p_x = 0$ und
$$z = \underbrace{5 + \frac{V_1 + V_2}{2(F_1 + F_2)}}_{a} - \sqrt{a^2 - \frac{10\,V_1}{F_1 + F_2}}.$$

Die Gleichungen gelten nur für den Fall, daß der Wert z sich nicht größer als h_2 ergibt und unter der in der Abbildung gemachten Voraussetzung, daß beide Gefäße in das Wasser eintauchen, während die Grundgleichung 1) ganz allgemein gilt, also auch für den Fall, daß eins oder beide Gefäße nicht offen in das Wasser tauchen, sondern allseitig bis auf das Verbindungsrohr geschlossen sind. Beim Ansaugen der Heber ist die zum Laufen der Heber erforderliche Höchstspannung bzw. Saughöhe bekannt und es handelt sich darum, die Größe der Saugglocke zu bestimmen. In diesem Falle ist, wie später gezeigt wird, ebenfalls die Grundgleichung $V_x \cdot p_x + V_y \cdot p_y = V_z \cdot p_z$ unter Einsetzung des Wertes für $p_z = 10 - z$ zu benutzen.

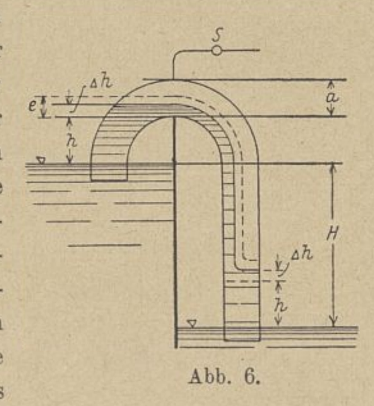


Abb. 6.

4. Ansaugen und Laufen der Heber. Sobald das Wasser in einem Heber über die Höhe des Heberrückens h angesaugt ist (Abb. 6), beginnt der Heber zu laufen. Ist zum Beispiel die Überströmungshöhe des Heberrückens $\triangle h$, so müßte, falls nicht durch Reibung zwischen der Luft und dem strömenden Wasser Luftteilchen in das Unterwasser mitgerissen würden, der Heber dauernd mit der Druckhöhe $\triangle h$ laufen. Dieses Mitreißen von Luft findet aber schon bei geringer Überströmung statt und wächst mit zunehmender Druckhöhe $\triangle h$ bzw. Gefällshöhe H.

Wie die Beobachtungen an den Heberschleusen in Wernsdorf und Kersdorf ergaben, tritt bei einer bestimmten Überströmungshöhe: e ein sehr rasches, selbsttätiges Nachsaugen des Hebers durch das strömende Wasser ein, welches den Heber mit der ganzen Gefällshöhe H voll zum Laufen bringt. Um das Ansteigen des Wassers in den Hebern beobachten zu können, waren im Oberstück einzelner Heber Beobachtungsschlitze angebracht worden, die mit Glasplatten verschlossen waren. Durch diese Schlitze konnten alle Vorgänge, namentlich die nahezu plötzliche Zunahme der Heberfüllung beim Überschreiten einer bestimmten, etwa 0,5 a betragenden Überströmungshöhe = e im Scheitel beobachtet werden.

Der Wert von e ist von der Form des Hebers, von der Höhe a zwischen Rücken und Scheitel des Hebers, von der Höhe des Heberrückens h und vom Gefälle der Schleuse abhängig. Bei den Schleusen in Wernsdorf und Kersdorf wurde für e ein Wert von etwa 0,5 a ermittelt. Genauere Untersuchungen sind, wie bereits erwähnt, von Herrn Dr.-Ing. Havestadt angestellt worden, auf welche bei den weiteren Untersuchungen, deren Ergebnisse sich an vielen Punkten mit denen von Havestadt decken, noch Bezug genommen werden soll.

Wenn man, wie bei der Entwicklung der Grundgleichung 1) geschehen, vorläufig annimmt, daß die Temperatur der Luft während der Ausdehnung sich nicht ändert, also die isothermische Zustandsgleichung zugrunde legt: $V_x \cdot p_x = V_y \cdot p_y$, obwohl sich die Luft beim raschen Ansaugen, also rascher Volumenänderung, nicht unbeträchtlich abkühlt, mithin einen kleineren Rauminhalt erfordert — adiabatische Zustandsgleichung $V_x \cdot p_x^n = V_y \cdot p_y^n$ —, so rechnet man in bezug auf den für das Ansaugen erforderlichen Saugglockenraum genügend sicher. Es steht übrigens nichts entgegen, den Heberquerschnitt im Scheitel unter Vergrößerung der Breite niedriger als bisher auszuführen. Für einen allmählichen Übergang kann leicht Sorge getragen werden. Wie später nachgewiesen, spielt die Höhe von e in bezug auf die Schnelligkeit des Ansaugens, also für die Füllzeit der Schleuse, eine erhebliche Rolle.

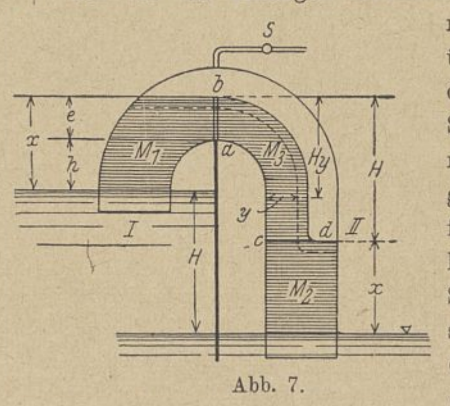


Abb. 7.

Bei den nachfolgenden Berechnungen soll das Maß $e = 0{,}5\,a$ angenommen werden. Selbst wenn es bei kleineren Gefällen nicht gelingen sollte, den Heber voll anzusaugen, so wird dadurch die Füllzeit gegenüber größeren Gefällen im allgemeinen nicht wesentlich erhöht, da der Kammerinhalt bei kleinen Gefällen entsprechend abnimmt. Bei sehr kleinen Gefällen wird natürlich die Anwendung einer besonderen Hilfsmaschine zum Ansaugen vorzusehen sein.

5. Bestimmung des in Rechnung zu ziehenden verdünnten Luftraumes im laufenden Heber. Nimmt man an, daß auf dem Rücken des Hebers eine umlegbare Trennungswand $a\,b$ errichtet ist (Abb. 7), so wird bei einer Luftverdünnung $p_x = 10 - x$ das Wasser in beiden Schenkeln bis zur Höhe x, entsprechend der gehobenen Wassermenge M_1 und M_2, aufsteigen. — Wird jetzt die Verbindung S mit der Saugglocke geschlossen und die Klappe $a\,b$ umgelegt, so beginnt der Heber anfänglich mit der Druckhöhe $a\,b$ zu laufen. Dadurch wird aber der Luftraum im Heber kleiner, die Luft wird also dichter, d. h. die Luftverdünnung nimmt ab und es sinkt somit der Wasserspiegel unter die Größe x, und zwar um so mehr, je länger der Heberschenkel II ist.

Es muß somit bei Berechnung des luftverdünnten Raumes V_x im Heber für die Saughöhe x auch die Wassermenge $M_3 = a\,b\,c\,d$ mit berücksichtigt werden.

Der luftverdünnte Raum im fließenden Heber berechnet sich also aus dem Luftinhalt des Hebers vor der Verdünnung abzüglich der gesamten fließenden Wassermenge
$$V_x = V_0 - (M_1 + M_2 + M_3) = V_0 - M_x.$$

Es gilt also die Grundgleichung 1), welche die Abhängigkeit der Spannung von Volumen ausdrückt, auch für den fließenden Heber. Die Umgrenzungslinie bd des Teils M_3 kann mit genügender Annäherung wie folgt bestimmt werden. Die im Heber mit der Saughöhe $x = h + e$ aufsteigende Wassermenge gelangt mit der Druckhöhe e zum Abfluß. Unter Benutzung der Formel für den freien Überfall ist die sekundlich abfließende Wassermenge $Q = \frac{2}{3}\mu_1 \cdot B \cdot e\sqrt{2ge}$, worin B die Breite des Hebers bedeutet. Wird $\frac{2}{3}\mu_1 = 0{,}6$ gesetzt, so wird $Q = 0{,}6\,B\,\sqrt{2ge^3}$. Für die Fallhöhe H_y wird $v = \sqrt{2g\,H_y}$ und $Q = B \cdot y \cdot v = B \cdot y\,\sqrt{2g\,H_y}$ und daraus $y = \frac{0{,}6\sqrt{e^3}}{\sqrt{H_y}}$. Für eine Höhe des Heberquerschnitts im Scheitel $a = 1$ m ergibt sich für verschiedene Werte von e die folgende Tabelle für y.

H_y	$e = 0{,}7$	$e = 0{,}6$	$e = 0{,}5$	$e = 0{,}4$
1	0,34	0,28	0,22	0,15
3	0.20	0,16	0,13	0,09
5	0.15	0,13	0,10	0,07

Unter Zugrundelegung dieser Werte für y läßt sich die Linie bd genügend genau bestimmen, so daß der Inhalt M_x auf zeichnerischem Wege bzw. planimetrisch ermittelt werden kann.

Im allgemeinen wird es für Überschlagsrechnungen zur Untersuchung von Saugglocken für verschiedene Schleusengefälle genügen, für e eine mittlere Höhe des überfließenden Wassers zur Berechnung von M_3 zugrunde zu legen.

6. Berechnung der Größe der Saugglocke. Eine völlig mit Wasser gefüllte Saugglocke G_0 von beliebiger Form (Abb. 8) sei durch Öffnen des Hahnes S mit dem Heber H verbunden worden. Durch das in der Glocke absinkende Wasser wird die Luft im Heber und in der Glocke allmählich eine geringere Spannung (Verdünnung) annehmen, wobei unter Vernachlässigung der Reibungsverluste in jedem Moment des Absinkens der in der Glocke entstehende Luftraum die gleiche Verdünnung wie der Luftraum im Heber erhält. Um die für das selbsttätige Nachsaugen des Hebers erforderliche Spannung $p_x = 10 - x$ zu erreichen, muß nicht allein der Glockeninhalt genügend groß gewählt werden, sondern es muß auch bei Eintritt der Spannung $p_x = 10 - x$ die Höhe h des Wasserspiegels in der Glocke über dem Unterwasserspiegel mindestens $= x$ sein. Wird mit G_x der Inhalt des Luftraumes in der Glocke, mit H_0 der Luftraum des Hebers einschließlich der Saugleitung vor dem Ansaugen (also mit p_0 Spannung) und mit H_x der Luftraum des Hebers nach dem Ansaugen (also mit p_x Spannung) bezeichnet, so ist nach der Grundgleichung 1) $V_x \cdot p_x + V_y \cdot p_y = V_z \cdot p_z$

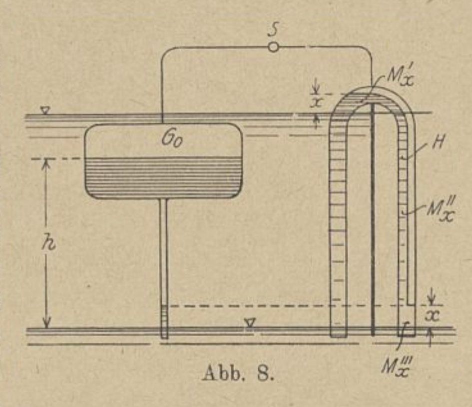


Abb. 8.

und da G_x vor Beginn des Absinkens $= 0$ war:

$$0 + H_0 \cdot p_0 = (G_x + H_x) \cdot p_x.$$

Nun ist $H_x = H_0 - M_x$, worin M_x die aus der Form des Hebers zu bestimmende gehobene Wassermenge des laufenden Hebers bedeutet, folglich:

$$G_x = \left(H_0 \frac{p_0}{p_x} - H_0\right) + M_x$$

$$\boldsymbol{G_x = H_0 \left(\frac{x}{10 - x}\right) + M_x} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3)$$

Diese Gleichung ist identisch mit der von Havestadt gegebenen Gleichung $S = \triangle C + H_v$, worin S den Inhalt der Saugglocke, $\triangle C = H_0\left(\frac{p_0}{p_x}\right) - H_0$ die Zunahme des vor der Verdünnung vorhandenen Luftraumes H_0 bedeutet, während H_v dem Wert von M_x, d. h. dem durch das Ansaugen des Wassers im Heber verloren gehenden Luftraum entspricht. Soll der Heber voll angesaugt werden, so wird $H_x = 0$ und $M_x = H_0$, mithin aus Gleichung 3)

$$G_x = H_0\left(\frac{10}{10 - x}\right).$$

Man wird G_x in der Praxis jedoch nur so groß anzunehmen brauchen, daß mit Sicherheit das selbsttätige Nachsaugen des Hebers erfolgen kann. Der erforderliche Glockeninhalt G_x wächst mit dem Schleusengefälle, da H_0 und M_x vom Gefälle abhängig sind.

Die sehr einfache Gleichung 3) kann unmittelbar zur Bestimmung der Glockengröße für Schleusen ohne Sparbetrieb benutzt werden. Für die Bestimmung von G_x wird dasjenige Heberpaar zu wählen sein, welches die größte Ansaugehöhe erfordert. Für die Höhenlage der Saugglocke ist das kleinste eintretende Schleusengefälle H_1 bestimmend (Abb. 9). Nach Berechnung von G_x wird die Glocke $abcd$ so anzuordnen sein, daß ihr tiefster Punkt entsprechend der zu erzielenden Endspannung p_x mindestens um das Maß x höher als der Unterwasserspiegel I

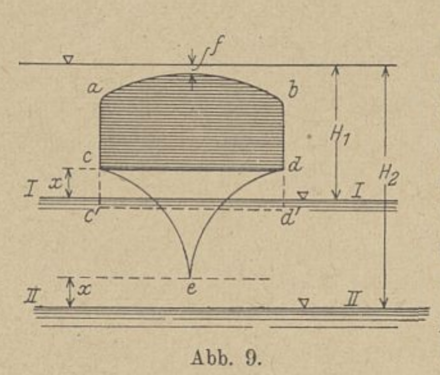


Abb. 9.

beim kleinsten Schleusengefälle liegt. Der oberste Punkt, bzw. die Linie ab, wird möglichst tief zu legen sein, um für das später zu besprechende Nachsaugen der Glocke durch den laufenden Heber keine zu große Endspannung zu bekommen. Hat man nun für den Fall einer Saugglocke z. B. mit rechteckigem Querschnitt die Glocke $a\,b\,c\,d$ mit kleinster Grundfläche für das kleinste Gefälle nach Maßgabe der örtlichen Verhältnisse bestimmt, so würde man für wachsende Gefälle bis H_2 die nötige Größe der Glocke aus der Formel 3) für wachsende Gefälle bestimmen können. Man würde dann z. B. auch eine Glockenform ungefähr mit der Umgrenzungslinie $abde$ wählen können. welche der Bedingung entspricht, daß bei jedem Gefälle der nötige Saugraum vorhanden ist und gleichzeitig die erforderliche Saugspannung p_x erzielt werden kann. — Statt dessen wird man natürlich aus praktischen Gründen die Form $a\,b\,c'\,d'$

wählen, wodurch auch ein schnelleres Ansaugen der Heber zu erreichen sein wird.

Ergibt sich bei sehr geringem Schleusengefälle eine zu große Grundfläche der Glocke, so wird für das Ansaugen eine besondere Hilfsmaschine vorzusehen sein. Derselbe Fall kann eintreten, wenn beim Sparbetrieb die erforderliche Saughöhe x zum Ansaugen der Unterheber so groß wird, daß die Saugglocke nach den örtlichen Gefällsverhältnissen nicht mehr beim Laufen der Heber genügend nachgesaugt werden kann. Es wird später gezeigt werden, daß durch bestimmte Maßnahmen die Verwendung einer Hilfsmaschine auf sehr vereinzelte Fälle wird beschränkt werden können. Ist das Gefälle beim Sparbetrieb nur in geringen Grenzen wechselnd, so vereinfacht sich die Rechnung. Jedenfalls wird die Saugglocke nicht unnötig hoch zu legen sein, damit das Nachsaugen durch die laufenden Heber erleichtert wird. Bei einfachen Schleusen ohne Sparbetrieb wird man andererseits die Glocke auch nicht zu tief legen, weil das Ansaugen der Heber um so rascher vor sich geht, je größer die Höhe der Wassersäule in der Saugglocke ist. Eine einfache Proberechnung wird genügen, um für den bestimmten Fall den Glockeninhalt und die Glockenform den örtlichen Verhältnissen entsprechend zu bestimmen.

7. Allgemeinster Fall der Berechnung der Saugglocke. Beim Heberbetrieb kommt es vor, daß ein vorgesaugter Heber bei zum Teil bereits abgesunkener Glocke angesaugt werden soll. Bezeichnet $H_x = H_0 - M_x$ den luftverdünnten Raum im Heber mit p_x Spannung, G_y den luftverdünnten Raum in der Glocke mit p_y Spannung, H_z und G_z die entsprechenden Räume nach Eintritt der Luftspannung p_z im Heber und Glocke, so geht die Grundgleichung 1) unter Einsetzung der Werte über in:

$$H_x \cdot p_x + G_y \cdot p_y = (H_z + G_z) \cdot p_z \quad \text{und daraus:}$$

$$G_z = H_x \cdot \frac{p_x}{p_z} + G_y \cdot \frac{p_y}{p_z} - H_z \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4)$$

Aus dieser Gleichung ist G_z zu berechnen, wenn die anderen Werte gegeben sind. Bei gefüllter Saugglocke, also $G_y = 0$, wird:

$$G_z = H_x \cdot \frac{p_x}{p_z} - H_z = H_x \cdot \frac{p_x}{p_z} - H_0 + M_z \quad . \quad . \quad 5)$$

Für den Fall, daß auch der Heber vor dem Ansaugen nur unter Atmosphärenspannung p_0 stand, wird:

$$G_z = H_0 \cdot \frac{p_0}{p_z} - H_0 + M_z = H_0 \cdot \frac{z}{10 - z} + M_z$$

entsprechend Gleichung 3).

8. Genauere Berechnung der Saugglocke für verschiedene Gefällhöhen. Die Berechnung auf Grund der Gleichung 3) $G_x = H_0 \cdot \left(\frac{x}{10 - x}\right) + M_x$ geschieht am besten auf graphischem Wege, indem man H_0 und M_x planimetrisch für einige Gefällhöhen ermittelt — es genügen dafür wenige Werte — und die Kurven für $H_0 \frac{x}{10 - x}$ und M_x, wie in Abb. 10 geschehen, aufträgt. Es ist dann die Größe G_x für ein bestimmtes Gefälle als Ordinate $a\,c$ abzugreifen. Der Wert M_x für das Gefälle $H = 0$ entspricht der in Abb. 11 schraffiert angedeuteten Wassermenge. Für umfangreichere Berechnungen mit verschiedenen Saughöhen sind weitere Kurven für $H_0 \frac{x}{10 - x}$ und M_x zu zeichnen, so daß bequem interpoliert werden kann.

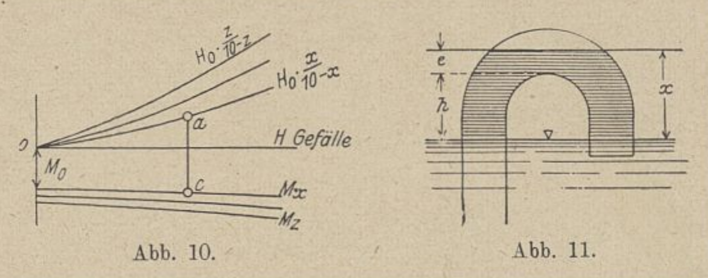


Abb. 10. Abb. 11.

Zur Bestimmung von H_0 ist ein Zuschlag für den Inhalt der Saugleitung vom Heber bis zum Steuerapparat zu machen, während für die Saugglockengröße G_x die Saugleitung nicht berücksichtigt zu werden braucht, weil nach einmaligem Ansaugen der Glocke bis zur vollen Höhe die Saugleitung stets unter einer Spannung steht, die größer ist als die Spannung im Heber.

9. Berechnung der Glocke unter Benutzung der adiabatischen Zustandsgleichung. Bei den bisherigen Berechnungen ist die isothermische Zustandsgleichung $v_0 \cdot p_0 = v_x \cdot p_x$ zugrunde gelegt worden, bei welcher die Annahme gemacht ist, daß die Temperatur vor und nach der Zustandsänderung dieselbe bleibt. Wenn für die Berechnung der Saugglocke (vgl. auch Havestadt) die bekannte adiabatische Zustandsgleichung angenommen wird, wobei die Abkühlung der Luft durch die Ausdehnungsarbeit berücksichtigt wird, also die Luft ein geringeres Volumen annimmt, als im ersten Fall, so besteht die Gleichung $v_x^n \cdot p_x = v_y^n \cdot p_y$ und nach Einsetzung des Wertes $n = 1{,}4$ für Luft: $(H_0)^{1,4} \cdot p_0 = (G_x + H_x)^{1,4} \cdot p_x$ und daraus:

$$G_x = H_0 \left(\frac{10^{0,7} - (10 - x)^{0,7}}{(10 - x)^{0.7}}\right) + M_x \quad . \quad . \quad . \quad 6)$$

Bei Annahme des Potenzexponenten $n = 1$ (isothermisch) geht die Gleichung in die früher bestimmte Gleichung 3) über. Die Gleichung 6) liefert also etwas kleinere Werte für die Saugglocke, und zwar um so kleiner, je größer die Saughöhe x ist. Für umfangreichere Untersuchungen wird es sich empfehlen, die graphischen Darstellungen auch für die adiabatische Zustandsgleichung zu benutzen.

10. Absinken des Wassers in der Saugglocke nach Abschluß des Steuerhahns. Sobald nach Verbindung der Glocke mit den Hebern die erforderliche Saughöhe x im Heber erzielt ist, muß im Betriebe der Steuerhahn geschlossen werden. Der Luftinhalt der Glocke hat in diesem Augenblicke die Spannung p_x, während die dem Wasserstand in der Glocke entsprechende Saughöhe $y > x$ ist (Abb. 12). Nach Schluß des Hahnes muß also der Wasserstand in der Glocke weiter sinken, bis der Gleichgewichtszustand eintritt, also dem Luftraum G_z eine Spannung p_z mit der Saughöhe z entspricht. Es mus also

$$G_x \cdot p_x = G_z \cdot p_z \quad \text{oder} \quad \frac{G_x}{G_z} = \frac{10 - z}{10 - x} \quad \text{sein.}$$

Sobald das Gesetz gegeben ist, nach dem sich G^x mit fallendem Wasserstand ändert, also $\frac{G_x}{G_z} = f$ (m), so kann z bestimmt werden. Wird z. B. eine rechteckige Glocke an-

genommen, so ist $\frac{G_x}{G_z} = \frac{h-y}{h-z}$, folglich $\frac{h-y}{h-z} = \frac{10-z}{10-x}$ und daraus

$$z = 5 + \frac{h}{2} - \sqrt{\left(5 + \frac{h}{2}\right)^2 + (h-y)(10-x) - 10h}.$$

Für $h = 4$ m, $x = 2{,}5$ m und $y = 3{,}0$ m ergibt sich z. B. $z = 2{,}94$ m, mithin eine Senkung des Wasserspiegels in der Glocke $y - z = 6$ cm.

Diese Ausdehnung der Luft bedeutet aber natürlich keine verlorene Arbeit, sondern ist beim nächsten Ansaugen wieder nutzbar zu machen.

11. Selbsttätiges Ansaugen der Heber bei fallendem Kammerwasserstand. Wenn die unter atmosphärischer Spannung stehenden Ober- bzw. Unterheber vor höhe x bzw. y bestimmen. Zur überschläglichen Berechnung der Ansaugewerte für verschiedene Höhen h bzw. Schleusengefälle H kann man für die gebräuchlichen Heberformen folgende vereinfachende Annahmen machen. Trägt man die horizontal gemessene mittlere Querschnittsbreite B des Oberteils der Heber vom äußeren Umfang an gerechnet bis nach dem Scheitel hin ab, so ergeben sich die Flächen 1 2 3 und 3 4 5 nahezu inhaltsgleich (Abb. 15). Der Inhalt der Heber kann also angenähert gleich Horizontalquerschnitt mal Höhe gesetzt werden. Für den Oberheber ist also bei entleerter Kammer $V_1 = F(2h + H)$, für den Unterheber $V_2 = F(2h + 2H)$, worin F einen mittleren Querschnitt bedeutet. Die Wassermenge M_x ist dann ebenfalls angenähert $= 2F \cdot x$, worin F den mittleren horizontalen Querschnitt bedeutet (Abb. 16).

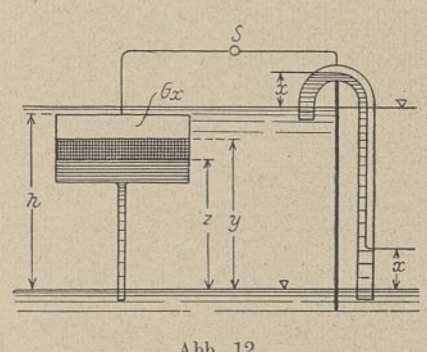


Abb. 12.

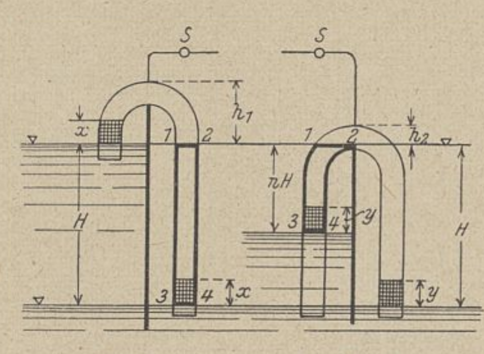


Abb. 13. Abb. 14.

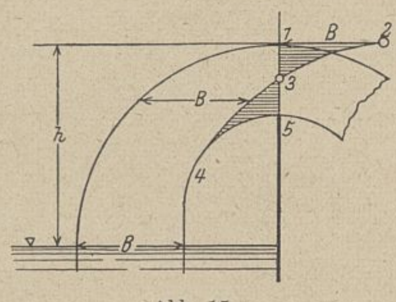


Abb. 15.

dem Entleeren der Kammer durch Hahn S (Abb. 13 und 14) von der Außenluft abgesperrt werden, so übt das in der Kammer absinkende Wasser in derselben Weise wie eine Saugglocke eine luftverdünnende Wirkung aus und das Wasser steigt in den Schenkeln der Heber auf die der Luftverdünnung entsprechende Saughöhe x bzw. y an.

Dieses selbsttätige Ansaugen der Heber kann bei höher gelegtem Oberheber benutzt werden, um bei kleineren Schleusengefällen das gegenseitige Ansaugen von Ober- und Unterheber innerhalb bestimmter Grenzen zu erleichtern, wie weiter unten ausgeführt werden wird.

Beim Sparbetrieb zwischen zwei Schleusen wird durch den Verbindungsheber die Kammer zum Teil entleert und dadurch der Unterheber in derselben Weise vorgesaugt, so daß die Saugglocke kleinere Abmessungen erhalten kann, was bei großen Gefällen von Wichtigkeit wird. Die Berechnung der Vorsaugehöhe ist für Ober- und Unterheber die gleiche. Man kann nämlich den mit starken Linien in den Figuren ausgezogenen Teil 1 2 3 4 des Schenkels innerhalb der Grenzen des fallenden Wasserspiegels der Kammer als Saugglocke betrachten.

Bezeichnet man mit V_0' den Luftinhalt des Hebers unter p_0 Spannung, ausschließlich des beim Absinken des Wassers in der Kammer als Saugglocke wirkenden Teils 1 2 3 4, dessen Inhalt V_0'' sein möge, so gilt wie früher die Gleichung $V_0 p_0 = V_x p_x$ und unter Einsetzung der Werte

$$V_0' \cdot p_0 = [V_0' + V_0'' - (M_x' + M_x'')] p_x \quad . \quad . \quad 7)$$

worin M_x' und M_x'' die durch den fallenden Wasserstand angesaugten Wassermengen bedeuten. Daraus läßt sich bei bekanntem Gesetz, nach dem sich die Inhalte M_x mit der Höhe x ändern, bzw. auf planimetrischem Wege, die Saug-

12. Vorsaugen der Oberheber. Für einen Oberheber geht die Gleichung 7) mit Vernachlässigung des Inhalts in der Saugleitung über in

$$F \cdot 2h \cdot 10 = [F(2h + H) - 2F \cdot x](10 - x)$$

und daraus

$$x = \underbrace{5 + \left(\frac{2h + H}{4}\right)}_{A} - \sqrt{A^2 - 5H}$$

Diese Gleichung ist identisch mit Gleichung 2), wenn die betreffenden Werte eingesetzt werden.

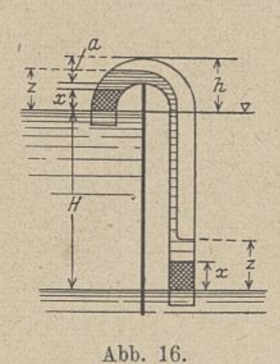


Abb. 16.

Wird die Bedingung gestellt, daß das Ansaugen beim Absinken des Kammerwasserstandes nur bis zum Rücken des Hebers, also bis zur Höhe $x = h - a$ stattfinden soll, damit der Heber nicht zu laufen beginnt und sich selbsttätig vollsaugt, so erhält man die Gleichung für die dazugehörige Gefällshöhe $H = \frac{20h}{10 - h + a} - 2a$ und z. B. für $a = 1{,}0$ m, $H = \frac{22h - 22}{11 - h}$.

Danach ist folgende Tabelle berechnet:

h	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
$h - 1{,}0$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
H	0,45	0,92	1,40	1,91	2,44	2,77	3,58

Es ist also z. B. bei einem Schleusengefälle von $H = 3{,}58$ m möglich, einen Heber, der mit seinem Rücken um 1,4 m höher als das Oberwasser liegt, bis zur Rückenhöhe vorzusaugen.

13. Vorsaugen der Unterheber. Die Gleichung 7) geht unter Einsetzen der Werte (Abb. 14) über in

$$F(2h+H)\cdot 10=[F(2h+nH+H)-2F\cdot x](10-x)$$

daraus $x=5+\underbrace{\frac{2h+nH+H}{H}}_{A}-\sqrt{A^2-5nH}$

für $h=a=1{,}0$ m und $nH=\frac{H}{2}$, d. h. beim halben Sparbetrieb zwischen zwei Schleusen ergibt sich folgende Tabelle für das Ansaugen mit Vernachlässigung der Saugleitung:

$H=0$	1	2	3	4	5	6
$x=0$	0,22	0,41	0,59	0,75	0,90	1,04

Das Vorsaugen der Unterheber kann also nicht so weit getrieben werden als beim Oberheber, weil der Luftinhalt des Unterhebers größer ist.

Die Wirkung des in der Kammer absinkenden Wassers kann in ähnlicher Weise wie bei den Hebern auch zum Ansaugen von anderen Hebern oder Saugglocken verwertet werden. Es bedarf dazu nur der Anordnung einer mit der Kammer unter der Unterwasserlinie dauernd in Verbindung stehenden besonderen Glocke I von genügendem Rauminhalt, deren feste Decke in Oberwasserhöhe liegt, um den Luftraum möglichst gering zu erhalten. Die Glocke I muß durch eine Saugleitung mit den anzusaugenden Hebern oder der Saugglocke II verbunden werden. Beim Sinken des Kammerwasserstandes wird dann die Saugglocke II oder die Heber durch die Glocke I selbsttätig statisch angesaugt. Die Abmessungen der Glocke I können bei Ausführung in Beton ohne wesentliche Kosten genügend groß angenommen werden. Die genauere Berechnung dieses interessanten Sonderfalles bietet auf Grund der gegebenen Unterlagen keine erheblichen Schwierigkeiten.

Die Hifsglocke würde zweckmäßig mit einem Ventil in der oberen Decke zu versehen sein, welches sich beim Ansteigen bzw. Fallen des Wassers in der Kammer selbsttätig öffnet bzw. schließt. Die Benutzung der Hilfsglocke kann auf die Fälle beschränkt bleiben, wo beim Ansaugen von Hebern eine Ausnutzung von verfügbaren Luftspannungen nötig wird.

14. Nachsaugen der vorgesaugten Heber. Sind auf die vorbeschriebene Art durch Absinken des Kammerwasserstandes Heber selbsttätig vorgesaugt, so gilt für das Nachsaugen der Heber bis zur erforderlichen Höhe x durch eine gefüllte Saugglocke oder durch andere als Saugglocke wirkende gefüllte Heber die früher entwickelte Gleichung 5) und für eine nur zum Teil gefüllte Saugglocke die Gleichung 4), woraus bei gegebenen Werten der erforderliche Inhalt der Saugglocke oder des Hebers, der als Saugglocke wirken soll, berechnet werden kann.

15. Gegenseitiges Ansaugen von Ober- und Unterhebern. Nach Füllung der Kammer ist der in Abb. 17 schraffiert angedeutete Wasserkörper G im Oberheber aufgehängt. Wird jetzt durch Hahn S die Verbindung mit dem Unterheber hergestellt, so wirkt die Wassermenge G genau wie die Füllung einer Saugglocke auf die Unterheber Man übersieht ohne weiteres, daß man diese Wirkung steigern kann, wenn man den Rücken des Oberhebers höher legt.

In derselben Weise wirkt nach Entleerung der Kammer der Unterheber auf das Ansaugen der Oberheber (Abb. 18). Die Berechnnng kann in derselben Weise wie früher nach Gleichung 3) $G_x=H_0\left(\frac{x}{10-x}\right)+M_x$ erfolgen. Darin bedeuten H_0 den Luftinhalt des anzusaugenden Hebers von p_0 Spannung und G_x den für das Ansaugen erforderlichen Wasserinhalt des anderen Hebers.

Unter Einsetzung einer bestimmten Saugehöhe x kann die Größe von G_x berechnet und mit der vorhandenen Größe G

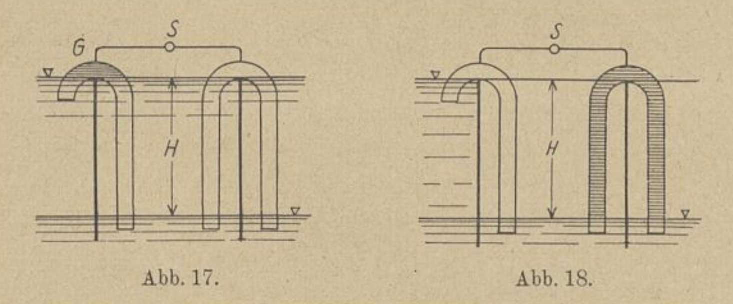


Abb. 17. Abb. 18.

verglichen werden. Es muß wie früher die Bedingung erfüllt werden, daß nach erfolgtem Ansaugen des Hebers der Wasserspiegel in dem anderen als Saugglocke wirkenden Heber höher als x über dem Wasserspiegel liegt. Die etwas ausführlichere Behandlung dieser Rechnung für verschiedene Gefällhöhen von Schleusen zur Begründung einer abgeänderten Form des Heberbetriebs soll in einem besonderen Abschnitt gegeben werden.

16. Dynamische Wirkung der laufenden Heber. Mit Hilfe der bisher entwickelten Formeln lassen sich in einfacher Weise die Saughöhen für alle vorkommenden Fälle bestimmen. Bei Anwendung von Hebern für einfache Schleusen ohne Sparbetrieb genügt die Formel

$$G_x=H_0\cdot\left(\frac{x}{10-x}\right)+M_x$$

vollständig, um danach die Abmessungen der Saugglocke für bestimmte Gefällgrenzen nach den örtlichen Verhältnissen zu ermitteln. Die Rechnungen sind in diesem Fall viel einfacher durchzuführen als für Schützen, bei denen die Bestimmung der Einzelheiten, namentlich bei Antrieb durch Maschinen, ungleich größere Schwierigkeiten bietet.

Der Heberbetrieb gestaltet sich in diesen Fällen ebenfalls sehr einfach, da die Saugglocke sich beim Laufen der Heber wieder mit Sicherheit innerhalb der durch das Gefälle der Schleuse bedingten weiten Grenzen bequem nachfüllen läßt.

Während nämlich bei Verbindung zweier Gefäße mit verschiedenen Spannungen sich der Luftausgleich bis zum Eintritt des Beharrungszustandes stets nur nach der Richtung desjenigen Gefäßes vollzieht, welches die größere Verdünnungsspannung besitzt, also nur die statische Wirkung der absinkenden Wassermenge in Frage kommt, tritt beim Laufen der Heber noch die dynamische Wirkung des durch die Heber strömenden Wassers hinzu. Im Anfang wird der Luftstrom beim Ansaugen der Heber nach der Saugglocke gehen, deren Wasserstand allmählich absinkt, während in den Schenkeln der Heber das Wasser ansteigt. Sobald aber der Heber bis durchschnittlich zur halben Höhe des Scheitelquerschnitts gefüllt ist, findet ein rasches selbsttätiges Nachsaugen infolge der im Heber mitgerissenen Luftmenge statt.

Solange die infolge der statischen Wirkung der in den Heberschenkeln aufgehängten Wassermengen und der Wirkung des strömenden Wassers erzeugte Saugspannung p_1 im Heber kleiner ist als die Saugspannung p_2 in der Glocke (Abb. 19), wird das Wasser im Rohr allmählich höher steigen und unter Umständen durch den Steuerapparat mitgerissen werden. Es muß also der Steuerhahn rechtzeitig geschlossen werden, oder das Steigerohr R eine etwas größere Höhe erhalten als der Saughöhe der Saugglocke entspricht. Überschreitet aber die Spannung p_1 im Heber beim Laufen die Spannung p_2 in der Glocke, so wird umgekehrt Luft aus der Saugglocke mitgerissen und die Saugglocke nachgefüllt. Dieser Vorgang dauert solange, bis infolge des abnehmenden Gefälles durch Füllung der Kammer $p_1 < p_2$ wird und somit das Wasser wieder im Rohr R aufsteigen würde, falls man nicht die Glocke durch den Steuerhahn S abschließt. Man übersieht, daß es jedenfalls zweckmäßig ist, das Saugerohr R bis auf eine genügende Höhe über den Scheitel des Hebers zu führen, um das lästige Mitreißen von Wasser durch den Steuerapparat bei unvorschriftsmäßiger Bedienung des Hahnes zu vermeiden. Die Spannungsgröße p_1 ist von der statischen Wirkung der im Heber aufgehängten Wassersäule und von der dynamischen Wirkung des unter dem Gefälldruck strömenden Wassers abhängig. Während die Wassergeschwindigkeiten, der

Abb. 19. Abb. 20. Abb. 21.

Abnahme des Gefälles entsprechend, für Ober- und Unterheber beim Füllen bzw. Entleeren der Kammer bis auf Null abnehmen, hat nach Füllung der Kammer durch die Oberheber die für das spätere statische Ansaugen noch verwertbare aufgehängte Wassermenge die Höhe h_1 über dem Oberwasserspiegel (Abb. 20).

Nach Entleeren der Kammer durch die Unterheber besitzt dagegen die in den Unterhebern aufgehängte Wassermenge die Höhe $H + h_2$ . . . (Abb. 21). Der Unterheber ist also bei größerem Schleusengefälle, wie es beim Sparbetrieb vorhanden ist, für das Nachsaugen von erheblicher Bedeutung.

Für einfache Schleusen ohne Sparbetrieb wird bei den geringen Saughöhen, welche zur Betätigung der Heber erforderlich sind, nur eine kleinere Saugglocke erforderlich, die durch die laufenden Heber rasch wieder nachgesaugt werden kann. Abgesehen von sehr kleinen Gefällen kann auch die Form nach Höhenlage der Glocke leicht bestimmt werden

Beim weitgehenden Sparbetrieb ergeben sich dagegen aus den mehrfach erwähnten Gründen erheblichere Schwierigkeiten für das volle Nachsaugen der Glocke durch die laufenden Heber.

Es wurden deshalb schon beim Bau der neuen Schleusen der Spree-Oder-Wasserstraße, die mit den bereits vorhandenen Schleusen zum Sparbetrieb verbunden waren, auf Veranlassung des Unterzeichneten im April 1905 Versuche angestellt, um durch Einbau besonders geformter Düsen in das Scheitelstück des Hebers eine bessere Ausnützung der dynamischen Wirkung des strömenden Wassers zu erzielen. Die Versuche wurden in Kersdorf durch den damaligen Regierungsbaumeister Zimmermann, in Wernsdorf durch den damaligen Regierungsbaumeister Engelhard und den Regierungsbauführer Fischer ausgeführt. (Vgl. Zeitschrift für Bauwesen 1909, S. 511 u. ff.) — Schon bei Anwendung einfacher Düsen (Abb. 22), welche am Oberheber der Schleuse in Kersdorf angebracht wurden, ergab sich eine nicht unwesentliche Steigerung der Ansaugewirkung. Die Form der Versuchsdüse war so gewählt, daß eine möglichst stoßfreie Wirkung des Wassers erzielt werden konnte.

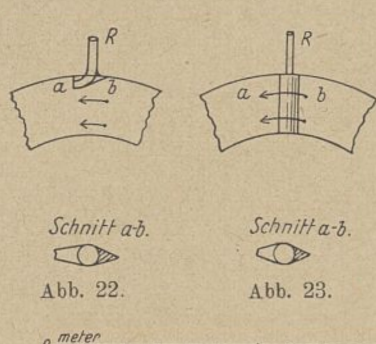


Abb. 22. Abb. 23.

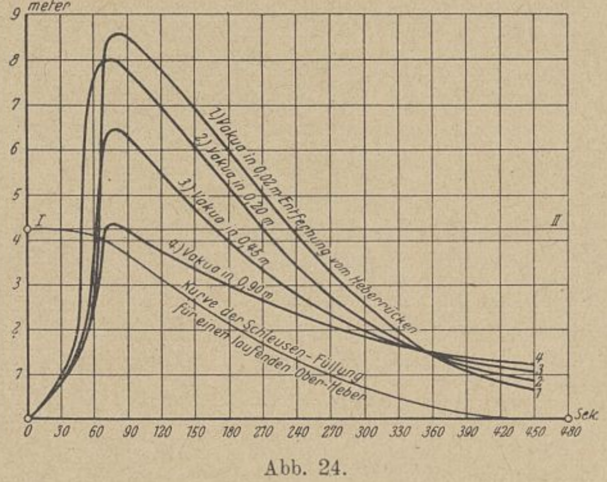


Abb. 24.

Bei Verteilung mehrerer Düsen innerhalb des Scheitelstücks oder durch Anordnung einer oder mehrerer Düsen, welche, wie in Abb. 23 dargestellt ist, in der vollen Höhe des Scheitelstücks mit einer spaltförmigen Öffnung durchgehen, war eine weitere Steigerung der Wirkung zu erwarten. Inzwischen wurden an der neuen Schleuse in Wernsdorf Messungen ausgeführt, um die Größe der Luftverdünnung und damit die absaugende Wirkung des strömenden Wassers in verschiedenen Höhen zwischen Rücken und Scheitel des Hebers festzustellen.

Die in Betracht kommenden Abmessungen der Schleuse sind die folgenden:

Heberquerschnitt im Scheitel $1{,}5 \cdot 1{,}0 = 1{,}5$ qm
im Schenkel . . $1{,}5 \cdot 1{,}5 = 2{,}25$ qm
Kammergrundfläche = rd. 620 qm
Gefälle zur Zeit der Versuche rd. 4,3 m.

Der Rücken der Oberheber ist wegen des besseren Abschlusses gegen das Oberwasser 0,3 m über O.W. gelegt, während der Rücken des Unterhebers in 0,10 m Höhe über dem Oberwasserspiegel liegt.

Die in Abb. 24 zur Darstellung gebrachten Ergebnisse der Versuche beziehen sich auf das Vakuum in verschiedenen Höhen während der Füllung der Schleuse durch einen Oberheber. Die Versuche wurden in der Weise angestellt, daß ein

in einer Stopfbüchse geführtes Gasrohr von 25 mm Durchmesser in den Scheitel des Hebers eingesetzt wurde. Die Höhenlage der Mündung des Rohrs blieb während einer Schleusenfüllung unverändert. Das Vakuum wurde in einer mit dem Gasrohr verbundenen Glasröhre gemessen, die in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß eintauchte.

In Abb. 24 sind die beobachteten Zeiten in Sekunden als Abszissen, die Vakua als Ordinaten, in metergehobener Wassersäule umgerechnet, dargestellt. Von der Linie I-II, welche in der Gefällhöhe 4,3 m liegt, ist die Abnahme des Gefälles während der Zeit der Schleusenfüllung aufgetragen.

Die Ordinaten bis zur Schleusenfüllungskurve entsprechen also den Gefälldrücken, unter denen der Heber lief. Die Vakua sind in vier verschiedenen Höhen von 0,02, 0,20, 0,45 und 0,90 m Entfernung vom Rücken des Hebers gemessen und durch die Linien 1, 2, 3, 4 dargestellt. Es ergibt sich, daß etwa nach 80 Sekunden, in welcher Zeit das Gefälle nur unwesentlich gesunken war, das Maximum für alle beobachteten Saughöhen erreicht wurde. Der Höchstwert für das Vakuum in der Schicht unmittelbar unter dem Heberscheitel wird nur angenähert so groß, wie ein der Gefällhöhe entsprechendes statisches Vakuum. Am Ende der Schleusenfüllung bleibt das Vakuum über Null infolge der in dem Scheitelstück aufgehängten Wassersäule. Das Vakuum nimmt, wie die Kurven zeigen, durch die dynamische Wirkung des strömenden Wassers nach dem Heberrücken hin wesentlich zu. Für die Schicht in 0,02 m Höhe über dem Heberrücken ergibt sich sogar ein Höchstwert, der ungefähr doppelt so groß als die Gefällhöhe ist.

Die Möglichkeit der Ausnutzung der dynamischen Wirkung des strömenden Wassers wird im vorliegenden Falle nach dem Heberrücken zu erheblich größer. Um den Einfluß einer Krümmung des Gasrohres auf das Vakuum zu ermitteln, wurden Versuche mit einem am Ende gekrümmten Gasrohr angestellt, die jedoch wesentliche Änderungen nicht ergaben (vgl. Abb. 22).

Erheblich günstiger gestalten sich die Ergebnisse für den laufenden Unterheber, wie in Abb. 25 dargestellt ist. Es kommt dies daher, daß die statische Wirkung der im Heber aufgehängten Wassersäule vom Beginn des Laufens bis zur Entleerung der Kammer um die volle Gefällhöhe zunimmt. Um den Einfluß verschiedener Formen des Saugrohrs auf das Ansaugen der Saugglocke zu ermitteln, ist ferner bei der Schleuse in Wernsdorf eine größere Reihe von Versuchen angestellt worden. Von diesen Versuchen sind zur Darstellung in Abb. 26 nur diejenigen berücksichtigt worden, welche wesentliche Unterschiede in der Saugwirkung ergaben, und zwar A die bisher gebräuchliche Form der stumpfen Einmündung des Saugrohrs im Heberscheitel (Abb. 27), B eine düsenartige Form des Saugrohrs. Das Saugrohr geht in voller Höhe vom Scheitel bis zum Rücken des Hebers durch und besitzt einen Spalt von 5 cm Breite nach der der Strömung abgekehrten Richtung hin (Abb. 28). C eine düsenartige Form wie zu B, an deren Fußende eine besondere Austrittsöffnung für die ausströmende Luft vorgesehen ist (Abb. 29).

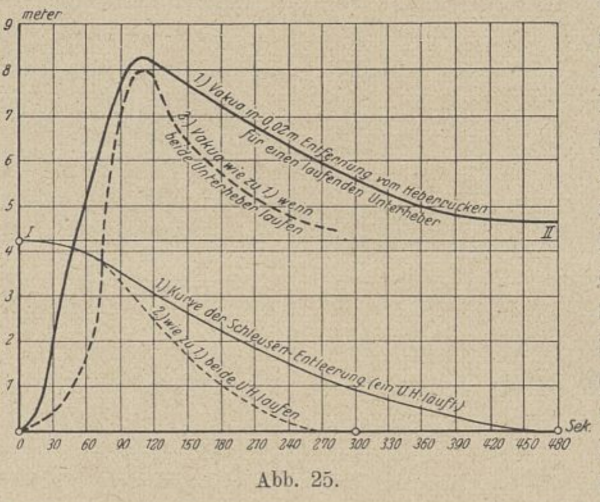


Abb. 25.

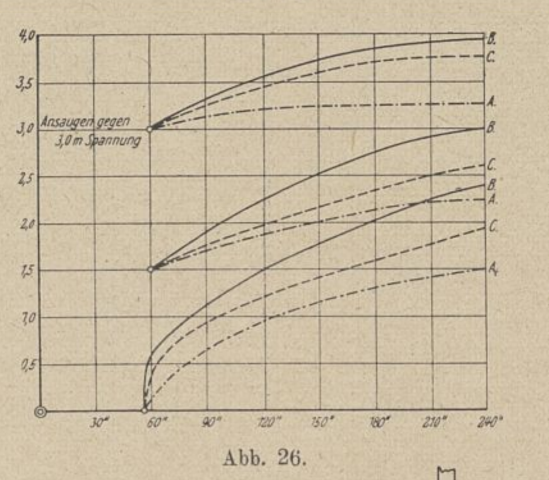
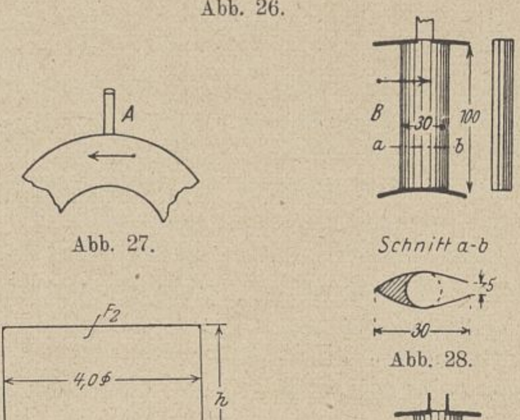


Abb. 26.

Abb. 27.

Abb. 28.



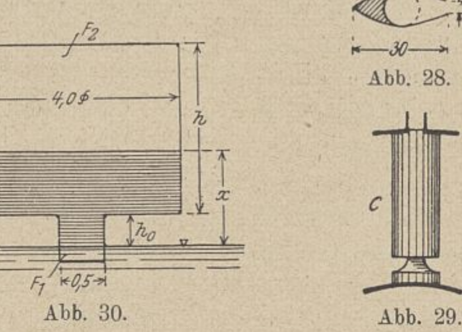


Abb. 30.

Abb. 29.

Die Versuche wurden wie folgt angestellt: Ein Oberheber wurde zunächst durch die beiden Unterheber angesaugt. Sobald der Oberheber zu laufen begann, wurde die Verbindung mit dem Unterheber abgestellt und der laufende Heber mit der Saugglocke verbunden. Abmessungen und Höhenlage der Saugglocke sind in Abb. 30 angegeben.

In Abb. 26 sind auf der Abszissenachse die Zeiten, auf der Ordinatenachse die Spannungen in der Saugglocke, auf meter Wassersäule bezogen, aufgetragen. Die Kurven A, B, C stellen die Ergebnisse des Ansaugens für die drei Saugrohrformen A, B, C dar, und zwar für das Ansaugen der Saugglocke unter drei verschiedenen Spannungen $p_x = 0 - x$ für $x = 0$, also Atmosphärenspannung, $x = 1{,}5$ und $x = 3{,}0$ m Wassersäule. Aus den Kurven geht ohne weiteres hervor, daß eine bedeutende Steigerung der Saugwirkung durch Verwendung der Spaltdüsen B und C eintritt. Dies gilt namentlich für das Ansaugen der Saugglocke unter größerer Luftverdünnung, also für den wichtigsten Fall beim Sparbetrieb, wo die Glocke zum Ansaugen der tief abgesunkenen Unterheber benutzt werden muß. Man übersieht, daß z. B. für $x = 3{,}0$ m mit Form A ein weiteres Ansaugen nach einem Zeitraum von etwa 100 Sekunden überhaupt nicht mehr zu erreichen ist, während die Düsen B und C die Saugglocke noch erheblich höher ansaugen können.

17. Erforderliche Arbeit zum Ansaugen von Glocken oder Hebern. Zum besseren Verständnis der

Vorgänge beim Ansaugen der Glocke durch laufende Heber und zum Vergleich der Arbeitsleistungen für verschiedene Spannungen in der Saugglocke soll an dieser Stelle auf die Arbeitsleistung eingegangen werden, die zur Erzielung von Saugspannung erforderlich wird. Die Arbeitsleistung, um ein Volumen von einem Kubikmeter Luft von p_0 auf p_x Spannung auszudehnen, läßt sich aus der Arbeit A eines Kolbens von 1 qm Querschnitt auf eine geschlossene Glocke von 1 cbm Inhalt bestimmen (Abb. 31). $A = \int_0^x dH_x \cdot x$. Darin bedeuten H_x den Weg des Kolbens bis zur Erreichung der Spannung p_x und $p_0 - p_x = 10 - (10 - x) = x$ den Kolbenzug, welcher in jedem Moment ausgeübt werden muß.

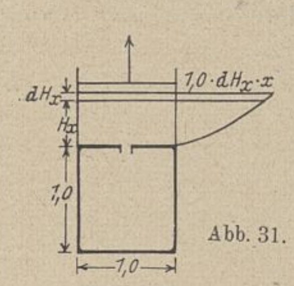


Abb. 31.

Aus Gleichung $V_0 p_0 = V_x p_x$ wird für $V_0 = 1$ cbm:

$$1 \cdot 10 = (1 + H_x)\ (10 - x)$$

$$d\,H_x = \frac{10\,dx}{(10-x)^2} = \text{folgl.}\ A = \int_0^x \frac{10\,dx}{(10-x)^2} \cdot x$$

durch Integration wird:

$$A = 10\left(\frac{x}{10-x} + \text{lognat}\left[\frac{10-x}{10}\right]\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 8)$$

d. h. = der Arbeit zur Ausdehnung eines Kubikmeters Luft von Atmosphärenspannung auf $(1 + H_x) = \left(1 + \frac{x}{10-x}\right)$ cbm Luft von p_x Spannung.

Eine Luftmenge von 1 cbm mit p_x Spannung kann ferner durch Ausdehnung einer bestimmten Luftmenge m von p_0 Spannung erhalten werden. Es besteht dann die Gleichung $m p_0 = 1{,}0 \cdot p_x$ und daraus $m = \frac{10-x}{10}$.

Um m cbm Luft von p_0 Spannung auf 1 cbm Luft von p_x Spannung auszudehnen, ist somit nach Gleichung 8) erforderlich:

$$A' = m\,A \text{ und daraus } A' = x - (10 - x)\,\text{lognat}\left(\frac{10}{10-x}\right) \quad . \quad 9)$$

= Ausdehnungsarbeit, um ein cbm Luft von p_x Spannung aus einem Luftraum $m = \frac{10-x}{10}$ cbm Luft von p_0 Spannung zu erhalten.

18. Arbeit zur Luftverdünnung in einer geschlossenen Saugglocke (Luftglocke). Diese Einrichtung zum Ansaugen von Hebern ist von Hotopp vorgeschlagen und unter Nr. 132559 patentiert worden. Das Patent ist inzwischen erloschen.

Bei der Verdünnung der Luft in einer geschlossenen, d. h. mit dem Wasser nicht in Verbindung stehenden Glocke (Abb. 32) vom Rauminhalt $F \cdot h$ bleibt während des Ansaugens, z. B. durch eine Luftpumpe, der Rauminhalt Fh konstant. Die Höhenlage der Glocke zum Wasserspiegel ist natürlich ohne Einfluß. In der Skizze ist aber durch ein Steigerohr von sehr kleinem Querschnitt die erzielte Saughöhe x ersichtlich gemacht. Der Arbeitsvorgang bei nur sehr geringem (unendlich kleinem) Hub und Niedergang des Kolbens entspricht dem Ansaugen der Luft aus einer Saugglocke durch einen laufenden Heber. Für eine Luftspannung p_x in der Glocke besteht bei weiterer Verdünnung durch den Kolbenhub $d\,H_x$ die Beziehung:

$$\underbrace{F \cdot h(10 - x)}_{= V_x \cdot p_x} = \underbrace{F(h + d\,H_x)}_{= (V_x + d_x)} \cdot \underbrace{(10 - [x + dx])}_{= (p_x + d_x)}$$

Nach Multiplikation und Vernachlässigung der Größen höherer Ordnung wird

$$d\,H_x = \frac{h\,dx}{10 - x};\ \text{also}\ A'' = \int_{x_1}^x F \cdot x \frac{h\,dx}{10 - x}$$

und daraus durch Integration zwischen den Grenzen x_1 und x

$$A'' = F \cdot h\left[10\ \text{lognat}\left(\frac{10 - x_1}{10 - x}\right) - (x - x_1)\right] \quad . \quad 10)$$

= Arbeit zur Verdünnung der Luft in einer geschlossenen Glocke von Spannung p_{x_1} auf Spannung p_x, entsprechend einer Steigerung der Saughöhen in einem unendlich klein gedachten Steigerohr von x_1 auf x. Die Arbeit ist dem Inhalt Fh proportional; für $Fh = 1$ cbm und $x_1 = 0$ also Anfangsspannung p_0 = Atmosphärenspannung wird

$$A'' = 10\ \text{lognat}\left(\frac{10}{10 - x}\right) - x \quad . \quad . \quad . \quad 11)$$

Die Werte A, A' und A'' in Tonnenmeter, Gleichung 8, 9 und 10, sind für verschiedene Saughöhen x in der folgenden Tabelle zusammengestellt und in Abb. 33 zeichnerisch aufgetragen.

x	A'	A''	A
0	0	0	0
2	0,214	0,232	0,268
4	0,936	1,108	1,559
6	2,335	3,163	5,837
8	4,781	8,095	23,905
10	10,000	∞	∞

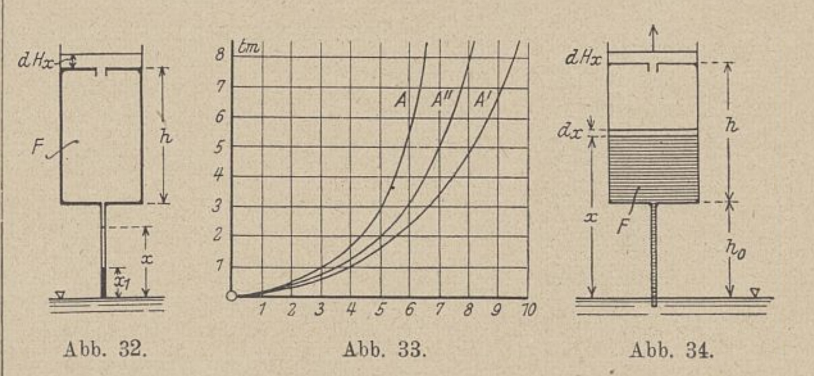


Abb. 32. Abb. 33. Abb. 34.

Während A' für $x = 10$ den endlichen Wert = 10 Tonnenmeter erreicht, da der auszudehnende Raum $m = \frac{10-10}{10} = 0$ wird, mithin beim Kolbenhub Luftleere vorhanden ist, werden die Werte A'' und A für $x = 10 = \infty$. Die Untersuchung unter Verwendung der entwickelten Formeln ergibt, daß die geschlossene Saugglocke gegenüber der offenen Saugglocke ungünstiger arbeitet. Auf eine genauere zahlenmäßige Berechnung kann deshalb verzichtet werden.

19. Arbeit zur Luftverdünnung in einer offenen Saugglocke mit Steigerohr. Es soll vorläufig der Inhalt des Steigerohrs so klein angenommen werden, daß er gegenüber dem Inhalt der Saugglocke vernachlässigt werden kann.

Die Arbeit, um das Wasser bis zur Saughöhe x anzusaugen (Abb. 34) ist gleich der Arbeit zum Ansaugen der

Glocke bis zur Saughöhe $h_0 = Fh\left[10 \text{ lognat}\left(\frac{10}{10-h_0}\right) - h_0\right]$ (Gleichung 10) + der Arbeit für das Ansaugen von h_0 bis $x = \int_{h_0}^{x} F \cdot x \cdot d\,H_x$.

Bei der Arbeit des Ansaugens bis zur Saughöhe h_0 bleibt der Luftraum der Saugglocke ungeändert $= Fh$, da der Inhalt des Steigerohrs vernachlässigt werden kann; beim weiteren Ansaugen ändert er sich mit der Saughöhe nach Gleichung $V_x = F(h_0 + h - x)$ und wird bei voller Füllung der Glocke (also $x = h_0 + h) = 0$. Der Wert von $d\,H_x$ läßt sich wie vorher durch die Beziehung bestimmen:

$$\underbrace{F(h + h_0 - x)}_{= V_x} \cdot \underbrace{(10 - x)}_{= p_x}$$

$$= \underbrace{F(h + h_0 + dH_x - [x + d_x])}_{= V_{(x+d_x)}} \cdot \underbrace{(10 - [x + dx])}_{= p_{(x+dx)}}.$$

Nach Multiplikation und Vernachlässigung der Glieder höherer Ordnung wird

$$d\,H_x = dx\left(1 + \frac{h + h_0 - x}{10 - x}\right).$$

Für $x = h + h_0$, also bei gefüllter Glocke, wird $dH_x = dx$, da der Kolben dann ohne Luftzwischenraum das Wasser ansaugt.

Die Arbeit zum Ansaugen der Glocke bis zur Höhe x ergibt sich also aus der Gleichung

$$A = Fh\left[10 \text{ lognat}\left(\frac{10}{10-h_0}\right) - h_0\right] + \int_{h_0}^{x} F \cdot x \cdot dx\left(1 + \frac{h_0 + h - x}{10 - x}\right).$$

von den Reibungswiderständen, durch das Ansaugen auch verdünnte Luft abgeführt wird. Bei einer Glocke mit Steigrohr von nicht zu vernachlässigendem Querschnitt (Abb. 35) ist z. B. unter Bezug auf die voranstehenden Entwicklungen die in der Glocke erzeugte Arbeitsleistung

$$A_n = \underbrace{\left[F_2 \cdot \frac{x^2}{2} - \left(F_2 - F_1\right)\frac{h_0^2}{2}\right]}_{\text{Arbeit zum Heben der Wassermenge.}} + \underbrace{\left[F_2(h_0 + h - x) \cdot A'\right]}_{\text{Arbeit zur Erzeugung eines Luftraumes von } F_2(h_0+h-x) \text{ cbm mit } x \text{ Saughöhenspannung.}} \quad 15)$$

Darin bedeutet A' den früher ermittelten Wert in Gleichung 9).

Für $x = h_0 + h$ ist diese Glocke gefüllt, das zweite Glied in Gleichung 13) wird also = Null.

Wird F_1 sehr klein, so geht die Formel über in

$$A_n = F_2\left[\frac{x^2 - h_0^2}{2} + (h_0 + h - x) \cdot A'\right] \quad . \quad . \quad 16)$$

Die Gleichung ist nur innerhalb der Grenzen $x = h_0$ bis $h_0 + h$ gültig. — Danach lassen sich z. B. aus den Versuchen an der Wernsdorfer Schleuse die Arbeitswerte bestimmen, die beim Ansaugen der Glocke durch die laufenden Heber geleistet worden sind.

Nach den in Abb. 30 angegebenen Abmessungen der Saugglocke in Wernsdorf wird nach Gleichung 15)

$$A_n = \left(12{,}56\,\frac{x^2}{2} - 11{,}76 \cdot \frac{0{,}6^2}{2}\right)$$

$$+ 12{,}56\,(4{,}0 - x)\left[x - (10 - x)\text{ lognat}\left(\frac{10}{10 - x}\right)\right] \quad . \quad 17)$$

Nach Integration wird:

$$A = \underbrace{F \cdot h \cdot \left[10 \text{ lognat}\left(\frac{10}{10-h_0}\right) - h_0\right]}_{\text{Arbeit zum Ansaugen bis Saughöhe } h_0.} + \underbrace{F\left(\frac{{}^2x - h_0^2}{2}\right)}_{\text{Arbeit zum Heben des Wassers.}} + \underbrace{F\left[x \cdot \left(10 - \left(h_0 + h - \frac{x}{2}\right)\right) - h_0\left(10 - \left(h + \frac{h_0}{2}\right)\right) - 10\left(10 - \left(h + h_0\right)\right)\text{lognat}\left(\frac{10 - h_0}{10 - x}\right)\right]}_{\text{Arbeit zur Verdünnung der Luft von } h_0 \text{ auf } x} \quad 12)$$

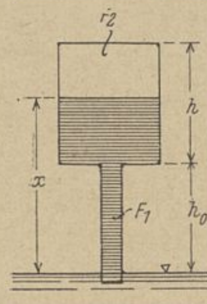


Abb. 35.

In derselben Weise läßt sich A für offene Saugglocken unter Berücksichtigung des Inhaltes des Steigerohrs bestimmen.

Mit Bezug auf Abb. 35 ergibt sich unter Anwendung derselben Berechnungsweise im ersten Abschnitt die Arbeitsgröße für die Füllung des Steigerohrs zwischen den Grenzen x_1 von 0 bis h_0 =

$$A_{\mathrm{I}} = \frac{F_1 x_1^2}{2} + \left(F_2 \cdot h + F_1 \cdot h_0 - 10 F_1\right)\left[10 \text{ lognat}\left(\frac{10}{10 - x_1}\right) - x_1\right] + \frac{F_1 x_1^2}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 13)$$

Im zweiten Abschnitt für $x_{,,} = h_0$ bis $h_0 + h$ wird:

$$A_{\mathrm{II}} = F_2\left(\frac{x_{,,}^2 - h_0^2}{2}\right) + F_2\left[x_{,,}\left(10 - \left(h_0 + h - \frac{x_{,,}}{2}\right)\right) - h_0\left(10 - \left(h + \frac{h_0}{2}\right)\right) - 10\left(10 - \left(h + h_0\right)\right)\text{lognat}\left(\frac{10 - h_0}{10 - x_{,,}}\right)\right] \quad 14)$$

Die Gesamtarbeit wird $= A_{\mathrm{I}}$ (für $x_{,} = h_0$) + A_{II} (für $x_{,,} = h_0$ bis $h_0 + h$).

Aus diesen allgemeinen Formeln lassen sich alle Werte für die Arbeit in offenen und geschlossenen Saugglocken bestimmen, je nachdem das Steigrohr ganz wegfällt (geschlossene Glocke $F_1 = 0$) oder einen nicht zu vernachlässigenden Querschnitt hat (offene Glocke), und zwar unter der Voraussetzung, daß der Querschnitt F_2 innerhalb der Grenzen h_0 bis $h_0 + h$ nicht wechselt. Bei veränderlichem Querschnitt sind die gleichen Rechnungen für bestimmte Ansaugehöhen, und zwar am besten graphisch durchzuführen.

20. Arbeitsleistung in der Glocke. Die in der Glocke nach dem Ansaugen vorhandene nutzbare Arbeitsleistung A_n ist natürlich kleiner als A, da ja, abgesehen

Daraus ergeben sich folgende Tabellenwerte:

Werte x	Arbeit zur Hebung des Wassers	Nutzarbeit	Gesamtarbeit
m	A_0 tm	A_n tm	A tm
1,0	4,16	6,10	6,37
2,0	23,00	28,39	30,64
3,0	54,40	60,72	68,22
4,0	98,36	98,36	115,28

Die Gesamtarbeitswerte A in der letzten Spalte sind auf Grund der Formel berechnet, die den Inhalt des Steigerohrs berücksichtigt.

Die Werte A_n und A sind in Abb. 36 zur Darstellung der Kurven A_n und A sowie der Kurve für die Hubarbeit

der Wassermenge benutzt. Für $x = 4{,}00$ fallen beide Kurven zusammen, da die Glocke dann gefüllt ist. Unter Benutzung der Kurve A_n sind nunmehr aus den Versucshwerten für das Ansaugen der Glocke in Wernsdorf (Abb. 26) die Werte A_n für die drei Hauptformen der Saugerohre A, B und C (Abb. 27, 28 und 29) tabellarisch zusammengestellt.

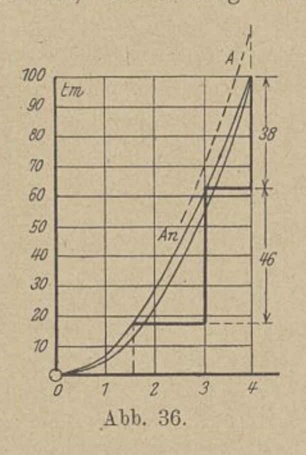


Abb. 36.

Saugzeit	Saugrohr A			Saugrohr C			Saugrohr B		
	angesaugt		A_n	angesaugt		A_n	angesaugt		A_n
	von	bis	in tm	von	bis	in tm	von	bis	in tm
60″	0.00	0,96	5,5	0,00	1,17	9,0	0,00	1,46	14,0
	1,50	1,89	**11,0**	1,50	1,96	12,0	1,50	2,21	**20,0**
	3,00	3,19	6,0	3,00	3,44	**15,0**	3,00	3,54	19,0
120″	0,00	1,30	11,0	0,00	1,59	18,0	0,00	2,01	29,0
	1,50	2,12	**17,5**	1,50	2,34	**23,5**	1,50	2,74	**37,0**
	3,00	3,22	6,4	3,00	3,73	22,0	3,00	3,88	32,0
180″	0.00	1,50	15,5	0,00	1,95	27,0	0,00	2,40	41,0
	1,50	2,24	**20,5**	1,50	2,60	**33,0**	1,50	3,00	**46,0**
	3,00	3,23	6,5	3,00	3,78	29,0	3,00	3,97	38,0

Die Arbeitswerte in Tonnenmetern sind dabei aus der Kurve A_n als Ordinaten zwischen den Spannungen abzugreifen. So ergibt sich z. B. bei einer Saugzeit von 180″ für die Düse B zwischen den Grenzen 1,50 bis 3 m Saughöhe ein Arbeitswert von 46 tm und zwischen den Grenzen 3 bis 3,97 von 38 tm.

Den in der Tabelle zusammengestellten Arbeitswerten A_n haften natürlich Ungenauigkeiten an, immerhin bestätigen aber die Versuche mit Sicherheit den Vorzug der Spaltdüse gegenüber der einfachen bisher gebräuchlichen Einmündung der Saugrohre. Die größte Arbeitsleistung wird nach der Tabelle für sämtliche Formen A, B und C der Saugrohre bei einer Saughöhe von 1,5 m in der Glocke erreicht, mit Ausnahme der Düse C bei 60″ (wahrscheinlich Beobachtungsfehler!) Bei den höheren Anfangsspannungen von 3 m in der Glocke zeigt sich auch bei den Düsen C und B eine Abnahme der Arbeitsleistung. Gerade aber bei diesen höheren Anfangsspannungen ergibt sich die Überlegenheit der Form B über Form A und C.

Die Arbeitsleistung der Düse A beträgt nämlich während der vollen Ansaugeperiode von 180″ nur etwa 6,5 tm, bei Form B etwa 38 tm. Die Form B erzielt also eine rund 6 mal so große Arbeitsleistung. Es ist klar, daß durch Einbau mehrerer Düsen die Arbeitsleistung entsprechend gesteigert werden kann.

Einer kurzen Erörterung bedarf noch die Verwendung der Düsenform B und C bzw. ähnlicher Formen beim Verbindungsheber. Dieser Heber könnte in erster Linie zum Ansaugen der Glocke herangezogen werden, weil er beim Sparbetriebe mit dem größten Gefälle betätigt werden kann. Die Ausbildung der Düse muß infolge des Umstandes, daß der Verbindungsheber nacheinander mit beiden Schleusen arbeitet, also nach entgegengesetzten Richtungen vom Wasser durchströmt wird, etwa nach Abb. 37 und 38 erfolgen, so daß je nach der Stromrichtung entweder Düse I oder II in Tätigkeit tritt. Beide Düsen müßten deshalb bis zur Vereinigung in einem gemeinschaftlichen Saugkopf, getrennt so hoch geführt werden, daß ein Übertritt des Wassers aus einer Düse in die andere nicht stattfinden kann. Jedenfalls kann bei Verwendung der neuen Düsenform die Wirkung des Ansaugens der Glocke durch den laufenden Heber bei höheren Spannungen sehr erheblich gesteigert werden.

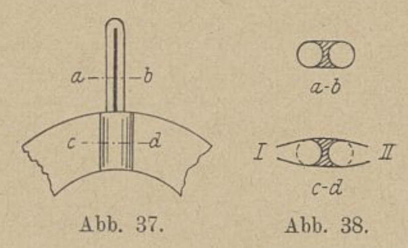


Abb. 37. Abb. 38.

21. Anwendung mehrerer Saugglocken in verschiedenen Höhenlagen. Um ein Gefäß H bis x anzusaugen, muß, wie mehrfach erwähnt, die Saugglocke mit ihrem tiefsten Punkt mindestens $h_0 = x$ Meter hoch liegen (Abb. 39). Beim Absinken des Wassers in der Glocke wird also die Schicht a mit größter Spannung, also dem größten Arbeitswert, zum Ansaugen der Schicht b mit kleinster Spannung, also dem kleinsten Arbeitswert, verwandt. Daraus folgt, daß es zur Verminderung der Arbeitsleistung bei Verwendung nur einer Glocke zweckmäßig sein würde, der Glocke

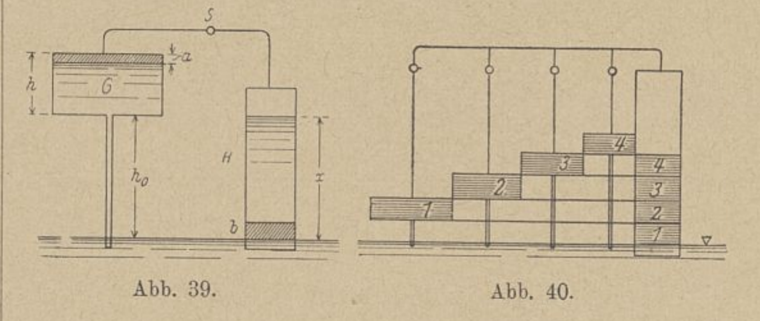


Abb. 39. Abb. 40.

eine möglichst geringe — theoretisch unendlich geringe — Höhe zu geben und zweitens, daß man dem absolut geringsten Arbeitswert um so näher kommt, je größer die Zahl der Saugglocken und je kleiner zugleich ihre Höhe gewählt wird (Abb. 40). In diesem Fall würden auch die Arbeitswerte der Glocken unmittelbar zur Berechnung der Saughöhen benutzt werden können. Die Anordnung vieler Glocken zeigt eine gewisse Analogie mit der Anordnung vieler Sparbecken beim Sparbetrieb, wodurch der Wasserverbrauch auf Null gebracht werden könnte.

Eine solche Anordnung läßt sich in der Praxis natürlich auch nicht angenähert durchführen. Wohl aber würde sich schon eine wesentliche Verringerung der Arbeitsleistung für das Wiederansaugen erreichen lassen, wenn drei oder wenigstens zwei Glocken bei den großen Saughöhen, die der Sparbetrieb erforderlich macht, vorgesehen würden. Auf diese Anordnung hat bereits Havestadt in seiner mehrfach erwähnten Abhandlung hingewiesen.

Die Zweckmäßigkeit einer solchen Anlage soll noch an einem Beispiel nachgewiesen werden, weil die allgemeine Erörterung dieses Falles unnötig verwickelt wird.

Wählt man wie früher ein Gefäß von 36 cbm Inhalt bei 9 qm Grundfläche, so berechnet sich für eine Ansaugehöhe von z. B. 2,4 m der erforderliche Glockeninhalt nach Gleichung 3) zu

$$G = H_0 \cdot \frac{p_0}{p_x} - H_0 + M_x = 36 \cdot \frac{10}{10-2{,}4} - 36 + 9 \cdot 2{,}4$$

$G = 32{,}97$ cbm.

Bei Verwendung von zwei Saugglocken, die je 1,2 m hoch ansaugen, ergibt sich für die erste Glocke der Inhalt:

$$G_1 = \frac{36 \cdot 10}{10 - 1{,}2} - 36 + 9 \cdot 1{,}2 = 15{,}71 \text{ cbm.}$$

Für die Berechnung der zweiten Glocke gilt die Gleichung 5)

$$G_2 = H_x \frac{p_x}{p_y} - H_0 + M_y$$

$$G_2 = \frac{(36 - 9 \cdot 1{,}2)(10 - 1{,}2)}{(10 - 2{,}4)} - 36 + 9 \cdot 2{,}4 = 14{,}78 \text{ cbm.}$$

In derselben Weise sind die Werte der folgenden Tabelle berechnet worden:

Glockengrößen und Arbeitswerte für das Ansaugen eines Gefäßes von 36 cbm Inhalt bei 9 qm Grundfläche bis auf 2,4 m Höhe für eine Glockenhöhe von $h = 1{,}0$ in h_0 m Höhe.

Eine Glocke			Zwei Glocken		
Saughöhe h_0 bis h_0+1	Inhalt cbm	Arbeitswert tm	Saughöhe h_0 bis h_0+1	Inhalt cbm	Arbeitswert tm
2,4 — 3,4	32,97	102,87	1,2 — 2,2	15,71	28,44
			2,4 — 3,4	14,78	46,11
Summe	32,97	102,87		30,49	74,55

Drei Glocken			Vier Glocken		
Saughöhe h_0 bis h_0+1	Inhalt cbm	Arbeitswert tm	Saughöhe h_0 bis h_0+1	Inhalt cbm	Arbeitswert tm
0,8 — 1,8	10,33	14,05	0,6 — 1,6	7,70	8,93
1.6 — 2,6	9,94	22,17	1,2 — 2,2	7,49	13,56
2,4 — 3,4	9,47	29,55	1,8 — 2,8	7,24	17,59
			2,4 — 3,4	6,96	21,72
Summe	29,74	65,77		29,39	61,80

Daraus ist noch folgende Tabelle berechnet:

Zahl der Glocken	Inhalt cbm	Differenz △	Abnahme in vH.	Arbeit tm	Differenz △	Abnahme in vH.
Eine Glocke	32,97			102,87		
Zwei Glocken	30,49	2,48	7,5	74,55	28,32	27,5
Drei „	29,74	3,23	9,8	65,77	37,10	36,1
Vier „	29,39	3,58	10,9	61,80	41,07	39,9

Man übersieht, daß durch Anordnung einer zweiten Glocke bereits 2,48 cbm = 7,5 v. H. Glockeninhalt und 27,5 v. H. Arbeitsleistung zum Wiederansaugen gespart werden können, während bei vier Glocken die weiteren Ersparnisse verhältnismäßig gering sind. Es wird sich also empfehlen, höchstens mit zwei Glocken zu arbeiten, um die ganze Anlage, namentlich den Steuerapparat, einfacher zu gestalten. Die Verwendung einer zweiten Glocke bietet aber den großen Vorteil, daß die oberste, unter größter Saugspannung stehende Glocke, kleiner ausfällt, also unter Benutzung der zur Verstärkung der dynamischen Wirkung vorbeschriebenen Vorrichtungen von dem mit dem größten Gefälle arbeitenden Verbindungsheber leichter wieder nachgesaugt werden kann, während die anderen Heber, entsprechend ihrer geringeren Saugwirkung, auf die zweite tiefer liegende Glocke arbeiten können. Das Ansaugen der oberen kleineren Glocke durch den Verbindungsheber mit Düsenausrüstung wird um so eher erfolgen können, als, wie früher gezeigt, der Unterheber beim Fallen des Kammerwasserstandes sehr erheblich vorgesaugt wird und somit der Glockeninhalt weiterhin verkleinert werden kann, was eine Verringerung des Arbeitswertes für das Ansaugen zur Folge hat. Bei Verwendung einer mechanischen Antriebskraft — Kapselgebläse, Pumpe usw. — als Hilfskraft kann natürlich die Saugwirkung der laufenden Heber nach Bedürfnis unterstützt werden, weil diese Hilfsmaschinen unabhängig vom Betrieb der Schleusen auf die Glocken arbeiten können. Die dafür erforderliche Kraft wird nur gering sein, da nur im Notfalle ein Mitarbeiten der Hilfsmaschinen erforderlich sein wird. Selbstverständlich ist auch der Fall möglich, daß die untere Glocke nur mechanisch angesaugt wird, wodurch eine Vereinfachung der Steuerung erreicht werden könnte. Im Fall, daß die beiden Saugglocken, wie später noch zu erörtern sein wird, in Beton hergestellt werden, sind die Kosten der Anlage sehr gering. Es empfiehlt sich dann die Glocken etwas größer als die Rechnung ergibt, zu machen, was durch Aussparungen im Mauerwerk des Unterhaupts bzw. der Kammer nahezu kostenlos erreichbar ist, weil dann sehr bequem, je nach den örtlichen Betriebsverhältnissen, durch Einbringen von Magerbetonmauerwerk oder Sand mit Ziegelflachschicht der Inhalt bis auf die im Betriebe sich ergebende vorteilhafteste Größe nachträglich eingeschränkt werden kann.

In sehr geschickter Weise hat Dr.-Ing. Havestadt ein zweckmäßigeres Ansaugen der Glocke dadurch erreicht, daß die schwimmend angeordnete Glocke sich beim Ansaugen tiefer senkt und beim Entleeren hebt, so daß nur mit einer mittleren Spannung angesaugt zu werden braucht. Diesem unbestreitbaren Vorzuge stehen aber im Vergleich mit der vorbeschriebenen Anordnung gewisse Nachteile gegenüber, nämlich die Kostspieligkeit der Anlage und Unterhaltung der Glocke mit ihren nicht ganz einfachen Einrichtungen und die Notwendigkeit, nur eine große Glocke verwenden zu müssen, die für den ganzen Sparbetrieb genügt.

Ob demgegenüber der Vorteil einer etwas vereinfachten Steuerung als ausschlaggebend zu erachten sein wird, bleibt immerhin zweifelhaft. Es wird in dieser Beziehung auf die noch weiterhin zu besprechenden Abänderungen des Betriebes hingewiesen.

Nach den voranstehenden Untersuchungen kann mit genügender Sicherheit behauptet werden, daß die dem bisherigen Heberbetrieb bei Sparschleusen anhaftenden Nachteile in bezug auf die Wideranfüllung der Saugglocke durch die laufenden Heber in ausreichender Weise zu beseitigen sein werden. Allerdings wird beim Sparbetrieb der Steuerapparat kaum so einfach ausgestaltet werden können, wie bei Anwendung von Schützen. Es kann jedoch auch hierin durch zweckmäßige Bezeichnung der einzelnen Bewegungen der Steuerhähne, sowie durch übersichtliche Anordnung des Apparats für die Bedienungsmannschaft die Steuerung er-

leichtert werden; namentlich wenn durch Anordnung einer zweiten Glocke das Ansaugen der oberen Glocke durch den laufenden Verbindungsheber sicher gestellt wird, so daß die Zahl der Verbindungen eingeschränkt werden kann. Unter Anwendung einer Hilfsmaschine für besondere Fälle läßt sich auch eine weitere Vereinfachung erreichen. Die großen Vorzüge des Heberbetriebs rechtfertigen die Fortsetzung von Versuchen für eine möglichst einfache Ausbildung des Heberbetriebs auch bei Sparschleusen.

Im nachfolgenden Abschnitt soll gezeigt werden, wie durch Höherlegen bestimmter Hebergruppen eine weitere Verbesserung des Betriebes erreicht werden kann.

22. Grenzwerte für das gegenseitige Ansaugen der Ober- und Unterheber. Im Abschnitt über das gegenseitige Ansaugen der Ober- und Unterheber sind die allgemeinen Gleichungen für die Berechnung bereits entwickelt. Bei dem bisher angewendeten Heberbetrieb lagen die Ober- und Unterheber mit ihrem Rücken in Normalwasserhöhe. Nur bei den neuen Heberschleusen der Spree-Oder-Wasserstraße bei Wernsdorf, Kersdorf und Fürstenberg sind die Rücken der Oberheber rund 0,3 m über Normalwasser gelegt worden, um einen dichten Abschluß auch bei geringen Schwankungen des Oberwassers, namentlich durch Wind, zu erzielen. Bei dieser bislang gebräuchlichen Anordnung war es, wie erörtert, bei größerem Gefälle wohl möglich, durch den Unterheber den Oberheber anzusaugen, dagegen mußte zum Ansaugen des Unterhebers, abgesehen von besonderen Fällen, stets die Saugglocke oder eine besondere Hilfsmaschine in Tätigkeit treten.

Abb. 41.

Es läßt sich nun innerhalb gewisser Grenzen der Schleusengefälle eine Lage des Oberheberrückens bestimmen, die ein gegenseitiges Ansaugen von Ober- und Unterheber ermöglicht, so daß nur bei erstmaliger Ingangsetzung des Betriebes oder nach längeren Betriebspausen eine Saugglocke oder eine kleine Hilfsmaschine betätigt zu werden braucht.

Unter dieser Voraussetzung würde es auch möglich sein, von der Anordnung einer besonderen Saugglocke überhaupt Abstand zu nehmen, wodurch eine erhebliche Kostenersparnis herbeigeführt werden könnte. Dies würde namentlich für Schleusen ohne Sparbetrieb von besonderem Wert sein. Bei der Benutzung einer besonderen Hilfsmaschine bedarf es nur einer geringen sekundlichen Kraftleistung, da es nicht darauf ankommt, die Heber in so kurzer Zeit anzusaugen, wie dies während des Betriebes erforderlich ist. Dementsprechend kann auch das Saugrohr nebst Absperrhahn in geringen Abmessungen ausgeführt und der Hauptsteuerhahn für den dauernden Betrieb als einfacher Dreiweghahn (also mit den Verbindungen: Oberheber, Unterheber und Luft) ausgebildet werden.

Um das Maß der Höhenlage des Oberheberrückens für verschiedene Schleusengefälle und danach die ungefähren Grenzen für die Anwendbarkeit der vorgeschlagenen Betriebsform zu bestimmen, wird es hier genügen, in Gleichung 3) $G_x = H_0 \frac{x}{10-x} + M_x$ außer der bereits eingeführten vereinfachten Berechnungsweise für den Wert H_0 noch zur leichteren Berechnung für die Größe M_x einige weitere vereinfachenden Annahmen zu machen.

Mit Bezug auf Abb. 41 kann der Inhalt der Wassermenge M_x für das Ansaugen eines Oberhebers vom mittleren Querschnitt F aus der früher entwickelten Formel bestimmt werden: $M_x = 2F(h+e) + F \cdot e + y_m \cdot B \cdot H$. Darin bedeuten $2F(h+e)$ die in beiden Schenkeln bis auf die erforderliche Ansaugehöhe $x = h + e$ gehobene Wassermenge; $F \cdot e$ einen Zuschlag für die dabei nicht berücksichtigten dunkel schraffierten Teile und $y_m \cdot BH$ die im längeren Schenkel abfallende Wassermenge von der Höhe H, der Breite des Hebers B und einer mittleren Stärke y_m. Das Maß von y_m kann für die verschiedenen Gefälle nach der bereits berechneten Tabelle auf und 0,2 m im Mittel angenommen werden (vergleiche Abb. 7). Es wird dann $M_x = 3F \cdot e + 2Fh + 0{,}2\,BH$ und für das Ansaugen des Unterhebers bei Lage des Rückens in Normalwasserhöhe $M_x = 3F \cdot e + 0{,}2\,B \cdot H$.

Es ergeben sich dann folgende einfache Formeln unter Benutzung der Formel $G_x = H_0 \frac{x}{10-x} + M_x$ bei Annahme der isothermischen Zustandsgleichung:

I. Ansaugen des Oberhebers durch den Unterheber:

$$G_x = \underbrace{F(2a+2h+H)}_{=H_0} \frac{x}{10-x} + \underbrace{3Fe + 2Fh + 0{,}2\,BH}_{=M_x} \qquad 18)$$

II. Ansaugen des Unterhebers durch den Oberheber:

$$G_x = F(2a+H)\frac{x}{10-x} + \underbrace{3Fe + 0{,}2\,BH}_{=M_x} \qquad 19)$$

Zum Vergleich soll vorläufig nur durch ein Zahlenbeispiel die Möglichkeit des gegenseitigen Ansaugens für verschiedene Gefälle H geprüft werden, und zwar für die Überhöhung $h = 0{,}6$ m, $a = 1{,}0$ m, $e = a/2 = 0{,}5$ m, $F = B^2 = 1{,}5^2 = 2{,}25$ qm (wie bei den Hebern in Wernsdorf). Die erforderlichen Ansaugehöhen x ergeben sich für den Oberheber $= h + e = 1{,}1$ m und für den Unterheber $= 0{,}5$ m.

Die Formeln gehen also über in:

$$\text{I.}\quad G_x^u = \Big(\underbrace{7{,}20 + 2{,}25\,H}_{=H_0}\Big)\,0{,}123 + \underbrace{6{,}08 + 0{,}3\,H}_{=M_x}$$

$$\text{II.}\quad G_x^0 = \Big(\underbrace{4{,}50 + 2{,}25\,H}_{=H_0}\Big)\,0{,}053 + \underbrace{3{,}38 + 0{,}3\,H}_{=M_x}$$

Daraus ergeben sich die Tabellen I und II mit Bezug auf die folgenden Erläuterungen der Werte G und G'.

I. Ansaugen des Oberhebers durch den Unterheber:

Gefälle H	$H_0 \cdot 0{,}123$	M_x	G_x'	G	Erforderliche Saughöhe	G'
1	2	3	4	5	6	7
0	0,89	6,08	6,97	4,5	1,10	11,92
2	1,44	6,68	8,12	13,5	1,10	13,07
4	1,99	7,28	9,27	22,5	1,10	14,22
6	2,55	7,88	10,43	31,5	1,10	15,38

II. Ansaugen des Unterhebers durch den Oberheber.

Gefälle H	$H_0 \cdot 0{,}053$	M_x	G_x	G	Erforderliche Saughöhe	G''
1	2	3	4	5	6	7
0	0,24	3,40	3,64	7,2	0,5	5,89
2	0,48	4,00	4,48	7,2	0,5	6,73
4	0,72	4,60	5,32	7,2	0,5	7,57
6	0,96	5,20	6,16	7,2	0,5	8,41

In den Tabellen bedeutet G_x den nötigen Inhalt des ansaugenden Hebers, der aus den entwickelten Formeln berechnet ist. Man übersieht, daß G_x erheblich mehr von M_x als von $H_0 \cdot \frac{x}{10-x}$ abhängig ist. Die Größe G in Spalte 5 bedeutet den ganzen verfügbaren Inhalt des saugenden Hebers. Dieser ist für den saugenden Oberheber constant $= 2\,F(h+a) = 7{,}2$ cbm (Abb. 42); für den saugenden Unterheber $= 2\,F(a+H) = 4{,}5\,(1+H)$, also vom Gefälle abhängig (Abb. 43).

Um den Oberheber ansaugen zu können, darf aber der Unterheber nicht tiefer als $x = 1{,}1$ m abfallen, damit die erforderliche Luftverdünnung im Oberheber erzeugt werden kann. Es muß also der Saugglockenraum im Unterheber sein:

$$G' = G_x + 2\,F \cdot 1{,}1 = G_x + 4{,}95 \text{ cbm}.$$

Danach ist in Spalte 7 die Größe von G' berechnet, welche die erforderliche Saughöhe $x = 1{,}1$ m erzielen würde. In derselben Weise berechnet sich für das Ansaugen des Unterhebers bis auf die Höhe $x = 0{,}5$ m der Wert von:

$$G'' = G_x + 2\,F \cdot 0{,}5 = G_x + 2{,}25 \text{ cbm}.$$

Abb. 42.

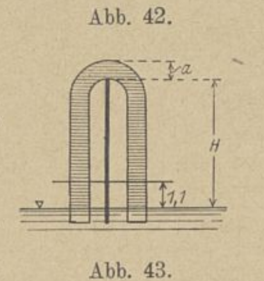


Abb. 43.

Sobald also in den Tabellen $G \gtreqless G'$ bzw. G'' wird, kann die erforderliche Saughöhe erreicht werden. Es läßt sich somit durch Vergleich von G mit G' und G'' bestimmen, ob die Heber sich bei verschiedenen Gefällen gegenseitig noch ansaugen können.

Aus der Tabelle folgt z. B., daß bei einer Höhenlage des Oberhebers von 0,6 m der Oberheber durch den Unterheber von Gefällen an, die noch etwas kleiner als 2 m sind, bereits angesaugt wird, weil bei zwei meter Gefälle $G = 13{,}5$ cbm, also größer ist als $G' = 13{,}07$ cbm. Das Ansaugen des Unterhebers durch den Oberheber findet bei Gefällen von 0 bis etwas über 3 m statt, da bei 3 m $G = 7{,}2$ cbm $>$ als $G' = 7{,}15$ cbm. Mithin würde das gegenseitige Ansaugen von Ober- und Unterheber nur in den theoretischen Grenzen der Gefälle von 2 bis 3 m erfolgen können. Es wird weiter unten nachgewiesen werden, daß sich diese Grenzen noch erheblich erweitern lassen.

Bei Aufstellung der Gleichungen 18) und 19) und Berechnung der Tabellen ist der Luftraum der Saugleitung bis zum Steuerapparat nicht berücksichtigt worden. Nimmt man dafür rund 1 cbm an, so wird im Falle I die Vermehrung für $G_x = 1{,}0 \cdot 0{,}123 = 0{,}123$ cbm, während der Inhalt zwischen 0 und 6 m Gefälle 6,08 bis 7,88 cbm beträgt, in Fall II wird der Einfluß noch geringer. Man begeht also mit Vernachlässigung der Saugleitung keinen nennenswerten Fehler.

Bei der relativ geringen Zeitdauer des Ansaugens könnte mit Bezug auf die Untersuchungen von Havestadt auch ohne Bedenken die adiabatische Gleichung zur Berechnung angewandt werden, wodurch der Wert von G_x selbst unter Berücksichtigung der Saugleitung mit 1 cbm Inhalt sich geringer stellt, wie in den berechneten Tabellen. Die Rechnung bleibt dieselbe, nur tritt an Stelle von $H_0\left(\frac{x}{10-x}\right)$ der Wert $(H_0 + 1{,}0 \text{ cbm})\left(\frac{10^{0,7} - (10-x)^{0,7}}{(10-x)^{0,7}}\right) + M_x$ der Gleichung 6); der zweite Faktor wird in Fall I $(x = h + e = 1{,}1) = 0{,}086$, im Fall II $\left(x = \frac{a}{2} = 0{,}5\right) = 0{,}037$.

Danach bestimmt sich folgende Tabelle:

I.	Ansaugen des Oberhebers		II.	Ansaugen des Unterhebers	
Gefälle	$H_0 \cdot 0{,}086$	G_x	Gefälle	$H_0 \cdot 0{,}037$	G_x
0	0,71	6,79	0	0,20	3,60
2	1,09	7,77	2	0,37	4,37
4	1,48	8,76	4	0,54	5,14
6	1,86	9,75	6	0,70	5,90

Trotz des Zuschlags für die Saugleitung werden also die Werte G_x in beiden Fällen nicht unwesentlich kleiner, so daß die Grenzen, zwischen denen das Ansaugen stattfindet, sich rund zwischen 1,5 und 3,5 m ergeben.

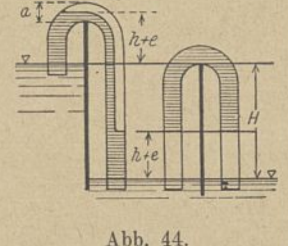


Abb. 44.

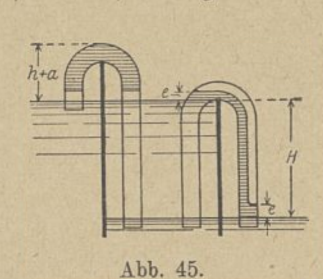


Abb. 45.

Es sollen nunmehr in etwas übersichtlicherer Form unter Benutzung der isothermischen Gleichung, aber ohne Zuschlag für Saugleitung, d. h. unter ungünstigen Annahmen, die Beziehungen zwischen der Höhenlage des Oberhebers und dem gegenseitigen Ansaugen der Heber entwickelt werden.

Aus der Gleichung $G_x = H_0\left(\frac{x}{10-x}\right) + M_x$ läßt sich für verschiedene Gefälle die höchste Lage h_{max} des Oberhebers finden, bei der das Ansaugen durch den Unterheber noch stattfinden kann. Es muß nämlich für eine Überströmung e der ganze Inhalt des Unterhebers

$$G = G_x + 2\,F(h+e) \quad \text{oder}$$

$$G = H_0\left(\frac{x}{10-x}\right) + M_x + 2\,F(h+e) \text{ sein (Abb. 44).}$$

Unter Einsetzung des Wertes $a = 1{,}0$ m wird nach den früheren Vereinfachungen Gleichung 18 für $h = 0$

$$G_x = G - 2\,F(h+e) = F(2\,H + 2{,}0) - 2\,F(h+e) =$$

$$\underbrace{F(2h + 2 + H)}_{=H_0}\left(\frac{h+e}{10-(h+e)}\right) + \underbrace{2F(h+e) + F \cdot e + 0{,}2BH}_{=M_x}$$

Für $F = B^2 = 2{,}25$ qm ergibt sich die Gleichung

$$h = \underbrace{\frac{0{,}72\,H + 11 - 1{,}75\,e}{}}_{=A} -$$

$$- \sqrt{A^2 + H(1{,}44\,e - 9{,}33) + e(27 - 2{,}5\,e) - 10}$$

daraus ergibt sich für $e = 0,5$

$$h = \underbrace{\frac{0,72\,H + 10,13}{}}_{=A} - \sqrt{A^2 - 8,61\,H + 2,88}$$

und für $e = 0,4$

$$h = \underbrace{\frac{0,72\,H + 10,30}{}}_{=A} - \sqrt{A^2 - 8,75\,H + 0,40} \quad . \quad 20)$$

Dies ergibt folgende Tabellenwerte:

Höchstlage h des Oberhebers							
Gefälle $H =$	0	1	2	3	4	5	6
h für $e = 0,5$	−0,13	+0,27	0,65	0,98	1,29	1,55	1,80
h für $e = 0,4$	−0,06	0,38	0,76	1,09	1,40	1,67	1,92

In ähnlicher Weise läßt sich die kleinste Höhenlage h_{min} des Oberhebers bestimmen, bei welcher für verschiedene Gefälle der Unterheber noch zum Laufen gebracht werden kann. Nach Abb. 45 wird

$$\underbrace{F\frac{(2h + 2a)}{}}_{=G} - 2F \cdot e = \underbrace{F(2a + H)\frac{e}{10 - e} + 3Fe + 0,2\,BH}_{=G_x}$$

und nach Einsetzung der Zahlenwerte:

$$h = H\left(\frac{e}{10 - e} + 0,067\right) + \left(\frac{e}{10 - e}\right) + 2,5\,e - 1,0,$$

für $e = 0,5$ wird $h = 0,093\,H + 0,303$,

für $e = 0,4$ wird $h = 0,088\,H + 0,042$.

Die Werte für h ergeben also für verschiedene Überströmungshöhen e gerade Linienzüge.

Danach ist folgende Tabelle für die niedrigste Lage des Oberhebers berechnet:

Gefälle $H =$	0	3	6
h für $e = 0,50$ . . .	0,303	0,582	0,861
h für $e = 0,40$ . . .	0,042	0,306	0,570

Die Werte für die kleinsten und größten Höhenlagen h bei verschiedenen Gefällen sind in Abb. 46 aufgetragen, um die Grenzwerte für das gegenseitige Ansaugen der Heber zu bestimmen.

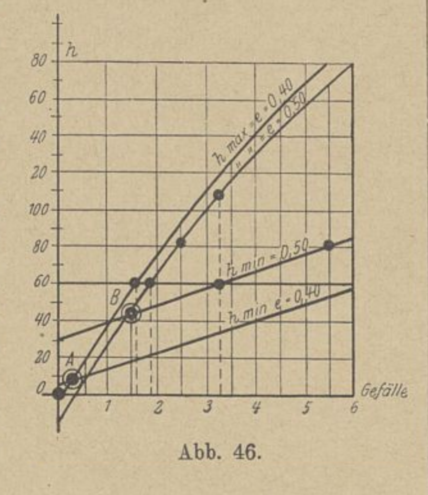


Abb. 46.

Die Kurven h_{max} stellen die Höhen h dar, bis zu welchen die Oberheber bei einer Überströmungshöhe von $e = 0,5$ bzw. $e = 0,4$ durch die Unterheber noch angesaugt werden können. Die Linien h_{min} für $e = 0,5$ bzw. $e = 0,4$ ergeben die kleinsten erforderlichen Höhenlagen des Oberhebers über dem Wasserspiegel, bei welchen der Unterheber noch angesaugt werden kann. Bei den für die Aufstellung der Formeln angenommenen Heberabmessungen sind daraus auf graphischem Wege sämtliche Werte leicht bestimmbar. Bei einem Schleusengefälle von 3,25 m muß z. B. der Heberrücken des Oberhebers 0,6 m hoch gelegt werden, damit der Unterheber angesaugt werden kann, der Unterheber dagegen würde den Oberheber noch für $h = 1,08$ m zum Laufen bringen. Im Punkte B, also bei einem Schleusengefälle = rd. 1,5 m saugen sich die Heber gegenseitig bei derselben Höhe $h = 0,41$ m für $e = 0,5$ m an, desgl. in Punkt A bei einem Gefälle von rd. 0,25 m für $e = 0,4$ m. Durch Ziehen einer Horizontalen in Höhe $h = 0,6$ m ergeben sich z. B. die Grenzen für das gegenseitige Ansaugen für $e = 0,5$ m in den Schnittpunkten mit den Kurven h_{max} und h_{min} für $e = 0,5$ m zu 1,8 bis 3,25 m, bei einer Höhe $h = 0,8$ m zu 2,5 m bis 5,5 m usw.

Der Betrieb der Schleusen durch gegenseitiges Ansaugen der Heber läßt sich aber noch über diese Grenzen hinaus aufrecht erhalten. Nach den Versuchen in Wernsdorf und Kersdorf, die durch die Versuche in Machnow bestätigt worden sind, findet auch bei einem kleineren Wert als $e = 0,5 = \frac{a}{2}$ ein selbsttätiges Nachsaugen des laufenden Hebers, wenn auch unter Vermehrung der Zeitdauer, statt. Bei $e = 0,4$ wird dieser Zeitverlust aber noch nicht erheblich, und zwar um so weniger, je größer die Gefällhöhe ist, weil die Geschwindigkeit des im längeren Schenkel abstürzenden Wassers und somit auch die Reibung des Wassers mit der Luft zunimmt.

Danach ist es also durchaus zulässig, z. B. für $h = 0,6$ m namentlich für höhere Gefälle, mit einer Überströmungshöhe $e = 0,4$ zu rechnen; der Betrieb des gegenseitigen Ansaugens würde also dann innerhalb der Grenzen der Schleusengefälle von 1,6 bis 6,4 möglich sein. Bei wenig schwankendem Gefälle, wie dies bei den meisten Kanalschleusen der Fall ist, kommt in Betracht für die Höhenlage des Oberhebers eine mittlere Lage zwischen den Grenzwerten h_{max} und h_{min} zu wählen, wobei sich das gegenseitige Ansaugen der Heberpaare gleichmäßig vollzieht.

Es läßt sich ferner auch der Oberheber bei kleinerem Gefälle noch ansaugen, wenn man ihn bei sinkendem Kammerwasserstand vorsaugen läßt. Für ein Schleusengefälle von 1,4 m z. B. wird der Oberheber nach der früher gegebenen Tabelle schon bis auf die Höhe 0,6 m vorgesaugt. Die untere Grenze des Ansaugens läßt sich also im Betrieb noch wesentlich ermäßigen. Schließlich kann in besonderen Fällen auch die dynamische Wirkung des laufenden Unterhebers zum Vorsaugen des Oberhebers benutzt werden. Wie der Betrieb der Schleuse in Fürstenberg gezeigt hat, macht die Bedienungsmannschaft der Schleusen von diesem Mittel häufig Gebrauch, ohne daß sich Betriebsstörungen gezeigt haben.

Aus den Berechnungen geht mit Sicherheit hervor, daß das gegenseitige Ansaugen der Heber innerhalb der bei Schleusen am häufigsten vorkommenden Gefällgrenzen durch eine höhere Lage des Oberhebers herbeigeführt werden kann, deren genauere Bestimmung bei gegebenen Verhältnissen besondere Schwierigkeiten nicht bietet, da die Rechnung nur für die Grenzwerte der Schleusengefälle durchgeführt zu werden braucht.

Die notwendige Höhenlage der Oberheber ist auch bei größeren Gefällen nicht so erheblich, daß dadurch die Übersichtlichkeit des Schleusenbetriebes gestört wird. Im allgemeinen wird eine Höherlegung des Oberheberrückens um etwa 0,6 bis 0,7 m bereits genügen, um innerhalb weiter Grenzen des Gefälles das gegenseitige Ansaugen zu ermöglichen.

23. Höherlegen der Oberheber bzw. des Verbindungshebers bei Doppelschleusen mit Sparbetrieb. Es sind dabei zwei Hauptfälle zu unterscheiden:

1. die beiden Oberheber werden höher gelegt als der Verbindungsheber (Abb. 47),
2. der Verbindungsheber wird höher gelegt als die Oberheber (Abb. 48).

Im Fall 1 ist schon bei der Höhenlage a b ein dichter Abschluß nach dem Oberwasser auch bei geringen Gefällschwankungen vorhanden; im Fall 2 kann je nach Umständen eine Lage a' b' zur Anwendung gelangen. Bezeichnet man die Oberheberpaare einer Doppelschleuse mit O_1 und O_2, den Verbindungsheber mit V, die Unterheberpaare mit U_1 und U_2 und die Saugglocke mit G (Abb. 49 u. 50), so lassen sich die einzelnen Vorgänge beim Betrieb aus der Zusammenstellung für die beiden Fälle 1 und 2 übersehen.

Im Fall 1 wird nach den früheren Entwicklungen der Verbindungsheber V durch die höher liegenden Oberheber O_1 angesaugt werden können, der Verbindungsheber saugt wieder O_2 an usw., während das Ansaugen des abgesunkenen Unterhebers stets durch die Saugglocke erfolgt. Die laufenden Heber können je nach ihrer dynamischen Wirkung zum Nachsaugen einer Saugglocke bzw. zweier in verschiedener Höhenlage angeordneter Saugglocken benutzt werden. Für Fall 1 ist es natürlich auch möglich V durch U_2 anzusaugen. Jedenfalls wird durch Höherlegen der Oberheber die ansaugende Wirkung der laufenden Heber in ausreichender Weise vergrößert.

Im Fall 2 wird die Gesamtwirkung eine bessere sein, da der Unterheber den Verbindungsheber auf eine größere Höhe statisch ansaugen kann, als der Verbindungsheber O_1 bzw. O_2 anzusaugen imstande ist, weil hierfür nur das halbe Schleusengefälle zur Verfügung steht. Man kann also im Fall 2 den Verbindungsheber wesentlich höher anordnen, als die Oberheber im Fall 1. Nach Abb. 46 ergibt sich zum Beispiel für die gewählten Heberabmessungen bei 4 m Gefälle eine mögliche Höhenlage des Verbindungshebers = 1,3 m, also eine sehr erhebliche Vermehrung des statischen Gefälles beim Ansaugen der Glocke, während bei Höherlegung der Oberheber der Verbindungsheber die Oberheber nur bei einer Höhe von rd. 0,6 m noch ansaugen kann.

Die Bestimmung der Gefällgrenzen, innerhalb welcher bei Sparbetrieb die Höherlegung der Heber zweckmäßig ist, kann nach der früher entwickelten Berechnungsart erfolgen. In beiden Fällen 1 und 2 wird die Saugglocke nur zum Ansaugen der vorgesaugten Unterheber in Anspruch genommen zu werden brauchen.

Durch bessere Ausnutzung der dynamischen Wirkung der laufenden Heber, durch Höherlegen der Oberheber bzw. des Verbindungshebers, durch Verwendung zweier Glocken bzw. der Havestadtschen schwimmenden Glocke ist eine vorteilhafte Anwendung der Heber auch beim Sparbetrieb mit Sicherheit zu erreichen, namentlich wenn man sich für Sonderfälle die Steigerung der Saugwirkung durch eine kleinere Hilfsmaschine vorbehält.

Es könnte ferner in Frage kommen, nur Oberheber und Verbindungsheber anzuordnen, die Entleerung der Schleusen in das Unterwasser aber nicht durch Heber, sondern durch Schützen zu bewirken. Da für die Wasserersparnisse in erster Linie nur der dichte Abschluß nach dem Oberwasser wichtig ist, der bei Anwendung von Hebern am Oberhaupt stets zu erreichen ist, so steht der Verwendung von Schützen am Unterhaupt nichts entgegen. Durch Höherlegen des Oberhebers ist dann allerdings ein sehr einfacher Betrieb der Heber ermöglicht, da sich die Oberheber und der Verbindungsheber innerhalb weiter Gefällgrenzen gegenseitig ansaugen können. Daneben kann gegebenenfalls auch eine Saugglocke oder eine

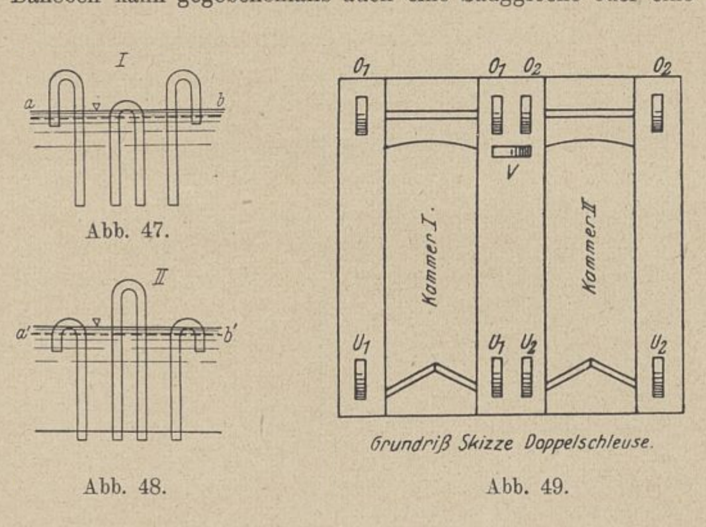


Abb. 47.

Abb. 48.

Abb. 49.

lfd. Nr.	Betriebszustände vor	nach	Fall 1.			Fall 2.
	Betätigung der Heber I II	I II	Anzusaugender Heber	Heber wird angesaugt: entweder durch:	oder durch:	angesaugt durch:
1.			V	O_1	U_2	U_2
2.			O_2	V	V	V
3.			U_1	G	G	G
4.			V	O_2	U_1	U_1
5.			O_1	V	V	V
6.			U_2	G	G	G
7.			V	O_1	U_2	U_2

Abb. 50.

Hilfsmaschine Verwendung finden, ohne die Einfachheit des Betriebes zu stören. Trotzdem wird sich nach meiner Ansicht die Anordnung von Schützen schon aus Ersparnisrücksichten und zur Vermeidung verschiedener Betriebsarten nur da empfehlen, wo es sich um sehr bedeutende Schleusengefälle handelt.

Nach diesen Untersuchungen ergeben sich folgende Heberanordnungen für Schleusen mit und ohne Sparbetrieb:

24. Schleusen ohne Sparbetrieb (also kein Wassermangel).

1. Bei größerem Gefälle — in geringen Grenzen schwankend oder nur ausnahmsweise geringerem Gefälle: Höherlegen der Oberheber und Heberbetrieb durch gegenseitiges Ansaugen der Heber. Saugglocke oder kleinere Hilfsmaschine zur erstmaligen Ingangsetzung der Heber oder nach längeren Betriebspausen.
2. Bei kleinerem Gefälle — oder in weiten Grenzen schwankenden Gefällen, die häufiger geringe Werte erreichen: Geringe Erhöhung der Oberheber, nur zur Verhütung des selbsttätigen Laufens der Oberheber. Zum

Betrieb Saugglocke und unter Umständen Hilfsmaschine zum Ansaugen der Heber bei sehr kleinem Gefälle. Zur Aushilfe kleine Schützen in den Toren.

25. Schleusen mit Sparbetrieb (also Wassermangel). (Beim Sparbetrieb kommen fast nur größere Gefälle in Frage, bei kleinerem Gefälle hört der Sparbetrieb auf).

1. Für Doppelschleusen mit gegenseitigem Sparbetrieb: Höhere Lage des Verbindungshebers, gegebenenfalls geringes Anheben der Oberheber zum besseren Abschluß gegen geringe Schwankungen des Oberwassers. Betrieb durch zwei in verschiedenen Höhen gelagerte Saugglocken. Unter Umständen Hilfsmaschine zur Verstärkung der Saugwirkung und zum Ansaugen der Heber bei sehr kleinen Gefällen.
2. Für einfache Schleusen, bei denen die Erbauung zweiter Schleusen in Aussicht genommen ist: Lage der Oberheber wie vor. Betrieb durch eine für den späteren Sparbetrieb erforderliche niedrig gelagerte Glocke. Bei sehr kleinen Gefällen eine Hilfsmaschine.
3. Im Falle der Anordnung von Schützen an Stelle der Unterheber bei Doppelschleusen und ausreichendem Gefälle: Höhere Lage der Oberheber und niedrige Lage des Verbindungshebers für das gegenseitige Ansaugen der Heber, Saugglocke oder Hilfsmaschine, die gleichzeitig für sehr kleine Gefälle zum Ansaugen dient. —

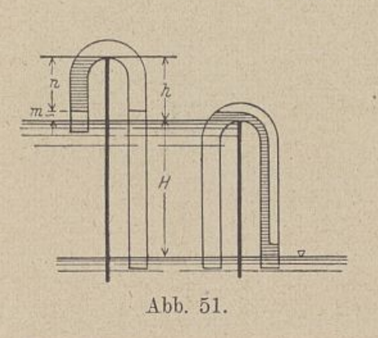


Abb. 51.

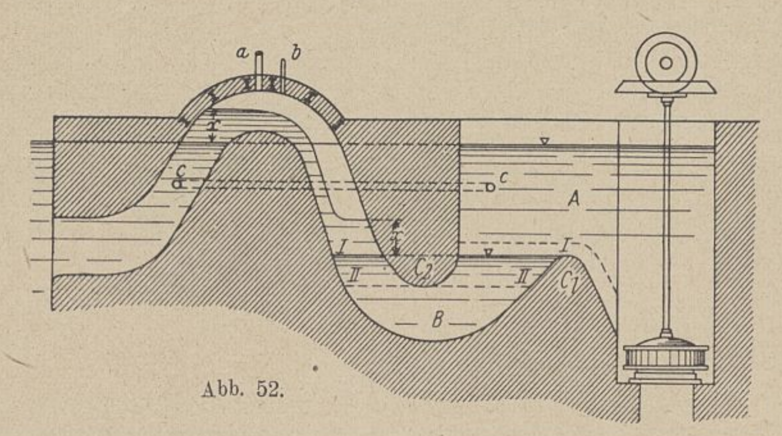


Abb. 52.

Zur näheren Bestimmung werden für die Grenzwerte der Gefälle auf Grund der entwickelten Formeln Berechnungen durchzuführen sein, die sich aber sehr einfach gestalten, weil die Saughöhe bekannt ist und es sich also nur um die Größe der Saugglocke handelt. Dies trifft auch für die Bestimmung der erhöhten Lage der Oberheber zu.

26. Einrichtung zum Entfernen von Preßluft und Saug- oder Niederschlagswasser aus den Heberleitungen. Wie bereits früher ausgeführt, kann beim Betrieb der Heber ein Rücksaugen von Wasser in die Leitungen stattfinden, wenn die Verbindung mit dem laufenden Heber und der Leitung durch Schließen des Steuerhahns nicht rechtzeitig unterbrochen oder ein so hohes Standrohr auf die Heberleitung gesetzt wird, daß auch bei der größten vorkommenden Luftverdünnung ein Rücksaugen nicht möglich ist. Wasseransammlungen in den Leitungen sind außerdem bei plötzlichem Witterungswechsel nicht ganz zu vermeiden, da sich dann der Wasserdampf reichlich niederschlägt. Es kann ferner durch falsche Heberstellung sich auch Preßluft im Unterheber beim Füllen der Schleusen bilden, wenn der Unterheber nicht auf Luft gestellt wird.

Diese allerdings nur sehr selten eintretenden Betriebsschwierigkeiten können dadurch vermieden werden, daß die Heberleitungen auf beiden Seiten der Schleuse je nach einem tiefsten Punkt geführt werden, an dem eine Rückschlagklappe mit verstellbarem Gegengewicht angebracht ist. Durch Saugspannung in den Leitungen wird sich die Klappe stets schließen, beim Eintreten von Wasser oder Preßluft aber sich selbsttätig öffnen.

Es wäre bei Verwendung von Rückschlagklappen sogar möglich, das gegenseitige Ansaugen der Heber nur durch einen einfachen Heber zu betreiben (Abb. 51), wenn nämlich bei einem bestimmten, nur in engen Grenzen wechselnden Gefälle H die Überhöhung h des Oberhebers so groß angenommen werden kann, daß nach Ansaugen des Unterhebers der Oberheber bis zur Grenzhöhe $m = e$ abgesunken ist und beim Entleeren der Schleuse durch das absinkende Kammerwasser nicht über das Maß $h = m + n$ vorgesaugt wird. Beim Füllen der Schleuse durch den Oberheber entweicht dann die sich im Unterheber bildende Preßluft selbsttätig durch die Rückschlagklappen. Diese Lösung hat natürlich nur ein gewisses theoretisches Interesse.

27. Verwendung von Hebern für die Wasserzuführung von Turbinen-Kanälen bei Schleusen, Freiläufen usw. Unter Umständen finden Turbinen zur elektrischen Krafterzeugung für den Schleusenbetrieb auch dann Verwendung, wenn auf Wasserersparnis beim Betrieb Rücksicht genommen werden muß. Meist wird die Turbine dann mit längeren Betriebspausen arbeiten. Selbst wenn ein dichtes und daher schwer zu bedienendes Vorschütz im Zuflußkanal vorhanden ist, wird aus Bequemlichkeit das Vorschütz meist während der Betriebspausen nicht geschlossen, sondern nur durch den Zellenverschluß der Turbine die Außergangsetzung bewirkt, was mit erheblichen Wasserverlusten verknüpft ist Wasserverluste von 30 Liter sekundlich sind durchaus nicht außergewöhnlich. An der Schleuse in Kersdorf wurde die Turbine nur etwa 4 Stunden täglich betrieben. Bei 300 Betriebstagen im Jahr würde sich ein Wasserverlust von rund 650000 cbm im Jahr ergeben. Bei etwa 1 Mark Pumpkosten für je 1000 cbm ergibt dies rund 600 Mark Kosten im Jahr.

Ein absolut dichter und nebenbei außerordentlich bequem zu bedienender Abschluß ist aber durch Anwendung eines Hebers zu erreichen (Abb. 52). Das Ansaugen des Hebers kann in einfachster Weise bei Heberschleusen durch Anschluß eines Rohres an die vorhandene Saugglocke oder an einen Heber geschehen. Bei Schleusen ohne Heberbetrieb könnte eine kleine gemauerte Saugglocke eingebaut werden. Der Heber kann durch eine Kupplung des Hahns der Leitung a mit der Abschlußvorrichtung der Turbine zwangläufig außer Gang gesetzt werden. Man kann auch auf dem Scheitel des Hebers ein offenes Rohr b von so kleinem Querschnitt anbringen,

daß die dadurch eintretende geringe Luftmenge beim Betrieb der Turbine und der dabei vorhandenen großen Wassergeschwindigkeit ein Abreißen des Hebers nicht zur Folge hat, während, sobald die Turbine durch den Zellenverschluß außer Gang gesetzt wird und damit die Wasserzuführung zum Heber nahezu aufhört, der Heber in kurzer Zeit absinken wird.

Nach Außerbetriebsetzung der Turbine fällt durch die Undichtigkeit des Zellenverschlusses das Wasser im Raume A bis zum Scheitel C_1 des Rückens, also bis zur Linie I.I. Die Unterkante der Trennungswand C_2 muß so tief gelegt werden, daß die Wassermenge zwischen den Grenzen I.I. bis II.II. größer ist, als die Wassermenge, welche zum Laufen des Hebers benötigt wird.

Es wird sich empfehlen, zur Wasserersparnis das Becken A hinter dem Heber nicht zu groß zu machen, um unnötige Wasserverluste beim Stillstand der Turbine zu vermeiden.

Die Zuflußleitung zur Turbine kann auch als offener Kanal ausgeführt werden, in den die Hebervorrichtung an geeigneter Stelle eingebaut wird (Abb. 53).

Wie aus der Abbildung hervorgeht, kann der Turbinenkanal ferner in einfachster Weise zur Regelung des Wasserstands im Oberwasser zwischen gewissen Grenzen benutzt werden, indem der Heber beim Erreichen eines bestimmten höchsten Wasserstandes in Tätigkeit tritt und durch Einsaugen von Luft durch das Rohr c' beim Absinken des Oberwassers bis auf den tiefsten zulässigen Wasserstand selbsttätig außer Betrieb gesetzt wird.

Vorteile der Verwendung von Hebern für die Zuflußleitungen sind außer der Wasserersparnis und der sehr bequemen Bedienung, die leichte Trockenlegung des Maschinenschachtes und die Möglichkeit durch Aufreißen einer Luftklappe die Turbine sehr rasch außer Tätigkeit setzen zu können.

Die Nachfüllung des Wassersacks B (Abb. 52) kann nach sehr langen Betriebspausen in einfachster Weise durch das Rohr c geschehen, dessen Mündung über dem Wasserspiegel I.I. liegt, so daß ein sicherer Verschluß jederzeit leicht stattfinden kann.[1])

28. Ausführung der Heber und der Saugglocke in Beton. Bei Ausführung von Hebereinrichtungen für Schleusen spielen die Kosten der Heber eine wesentliche Rolle, weil es bisher für unbedingt nötig erachtet wurde, die Heber ganz aus Eisen zu konstruieren und die eisernen Schenkel der Heber bis unter den tiefsten Wasserstand herabzuführen, um auf alle Fälle zu verhindern, daß durch Risse und Sprünge im Mauerwerk die Heber undicht werden und durch Eintreten von Luft ihre Wirkung in Frage gestellt werden könnte.

Es ist meines Wissens zum erstenmal beim Bau der neuen Schleusen in Wernsdorf und Kersdorf versucht worden, nur die Scheitelstücke der Heber in Eisenkonstruktion auszuführen, die eigentlichen Schenkel aber aus Beton zu stampfen, um die Kosten herabzumindern. Es hat sich dabei herausgestellt, daß die Heberschenkel in Stampfbeton sehr dicht geworden sind. Die dauernd wiederholten Beobachtungen über das Absinken der in den Hebern aufgehängten Wassersäule haben gezeigt, daß nahezu vollkommene Dichtigkeit vorhanden ist. Während der Betriebspausen bei Nacht sinken die Heber nur sehr wenig ab und dieses Absinken ist wahrscheinlich fast ausschließlich auf die geringen Undichtigkeiten in der Rohrleitung bzw. in den Steuerhähnen zurückzuführen. Es kommt dazu, daß der an sich poröse magere Stampfbeton sich allmählich unter Saugspannung durch feinere Schlammteilchen selbst dichtet, eine Eigenschaft, welche namentlich bei den Stampfbetonarbeiten in Wernsdorf und Kersdorf auch für Druckspannung sich auffällig bemerkbar gemacht hat. Zur genaueren Feststellung wurden damals Löcher von etwa 3—4 cm Durchmesser mehrere Meter tief von der Plattform der Schleusen aus in den Stampfbeton gebohrt, was im Anfange, wo der Beton noch nicht sehr fest geworden war,

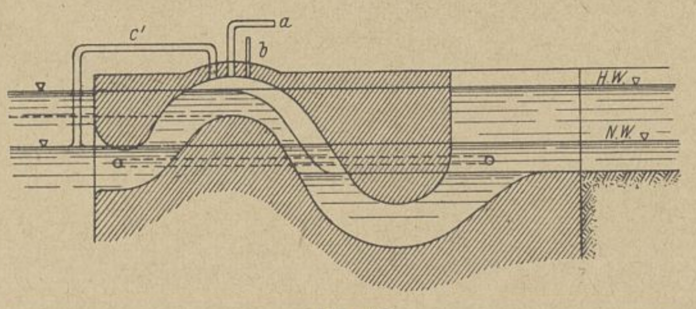


Abb. 53.

sich leicht ausführen ließ. Das in diese Röhren eingegossene Wasser versickerte anfänglich sehr schnell; die Röhren wurden aber schon nach kurzer Zeit völlig wasserdicht. Die Ausführung eiserner Heber wurde, trotz der hohen Kosten, auch mit Rücksicht darauf für nötig gehalten, weil damals befürchtet werden konnte, daß durch etwaige Unterspülungen des Betonbettes Sackungen des ganzen Kammermauerwerks unter Bildung von Längs- und Querrissen eintreten könnten.

Bei sorgfältiger Ausführung der Gründung, namentlich unter künstlicher Grundwassersenkung, Anordnung einer tiefgreifenden, eisernen, dichten Spundwand vor dem Oberhaupt und Herstellung einer Lehmanschlußdichtung am Bauwerk, kann die gefährliche Wirkung eines hohen Wasserdrucks vom Oberwasser her aufgehoben werden. Aber auch der Eintritt schädlicher Wirkungen beim etwaigen Sacken des Mauerwerks, in dem die Heber liegen, läßt sich dadurch vermeiden, daß am Ober- und Unterhaupt nicht allein eine durchgehende senkrechte Trennungsfuge, wie beim Neubau der Schleusen Wernsdorf, Kersdorf und Fürstenberg, sondern zur weitergehenden Sicherheit auch noch eine unter dem Unterwasserspiegel liegende horizontale Trennungsfuge vorgesehen wird, so daß der ganze geschlossene Mauerklotz, in dem die Heber liegen, für sich Bewegungen ausführen kann. Die horizontale Trennungsfuge wird durch eine schwache Isolierungsschicht oder in anderer Weise zu dichten sein. Zur größeren Sicherheit kann auch das Mauerwerk über dieser horizontalen Fuge durch Einlage einzelner Eisen für die Aufnahme von Zugspannungen verstärkt werden. Das letztere Mittel

1) Für die Anordnung von Düsen, Höherlegen der Oberheber Einbau von Rückschlagklappen und Verwendung von Hebern für Wassertriebwerke sind vom Verfasser schon im Jahre 1906 Patentansprüche angemeldet worden, weil aus bestimmten, hier nicht zu erörternden Gründen, zu befürchten stand, daß von anderer Seite ähnliche Patentansprüche erhoben werden würden, die der weiteren Anwendung der Heber hätten hinderlich sein können. Die Kosten des Patentverfahrens sind vom Staat nachträglich übernommen worden. Sämtliche vier Anordnungen sind vor Ablauf der Patente der freien Benutzung übergeben worden, um die weitere Ausbildung des Heberbetriebs zu fördern.

wird im allgemeinen nur in den seltenen Fällen anzuwenden sein, wo schon bei der Gründung selbst außergewöhnliche Schwierigkeiten in bezug auf wasserführende Schichten, Untergrundverhältnisse usw. sich gezeigt haben. Auch bei Verwendung anderer Füll- und Entleerungsvorrichtungen würden zur Vermeidung von durchgehenden Rißbildungen dieselben Maßnahmen sich als zweckmäßig erweisen. Es dürfte danach ganz unbedenklich sein, auch die Heberschenkel nicht in Eisen, sondern in Beton auszuführen, wie dies bereits beim Bau der Schleusen in Kersdorf und Wernsdorf geschehen ist.

Bei Ausführung in Stampfbeton empfiehlt sich die Anwendung einer Ziegelverblendung von etwa $1^1/_2$ Stein, die gleichzeitig als Lehre für den Beton dient, so daß die Kosten für die sonst nötigen Verschalungen nahezu wegfallen Die Aufnahme von Zugspannungen im oberen Teil der Schenkel bei großem Gefälle kann durch Flacheiseneinlagen, da wo die Zugspannungen größer werden, leicht erreicht werden, weil die freitragende Länge des Mauerwerks nur sehr gering ist.

Es läßt sich auch ein ovaler Querschnitt wählen, der an und für sich schon genügend steif ist. Die Ausführung des Ziegelmauerwerks bietet aber den ferneren unbestreitbaren Vorteil, daß die zahlreichen Fugen in fettem Zementmörtel schon nach kürzerer Zeit ungleich dichter sind als Magerbeton. Auch die Schwierigkeiten bei Ausführung des in dünnen Lagen aufzubringenden Putzes der eisernen Heber fallen bei den gemauerten Hebern fort, weil der Putz am Mauerwerk sehr gut haftet und im oberen Teil des Hebers, wo die Zugspannungen größer werden, durch Einlegen kleiner Hafteisen in die senkrechten Fugen (also ohne die horizontalen Eiseneinlagen zu kreuzen) eine vortreffliche Sicherheit für die Haftbarkeit des Putzes erreicht wird. Die Putzschicht kann außerdem dünner genommen werden wie an einem eisernen Heber. Vom mittleren Teil des Hebers ab nach unten hin wird es der Einlegung horizontaler Eisen überhaupt nicht mehr bedürfen.

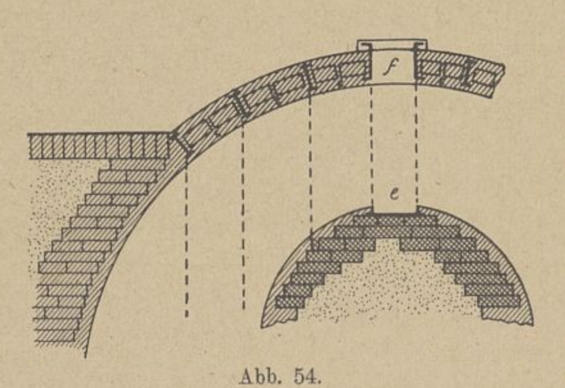


Abb. 54.

Es kann ohne weiteres angenommen werden, daß die Ausführung derartiger Heberröhren in der vorbeschriebenen Art **keinesfalls** teurer sein kann, als die Ausführung senkrechter Schächte für den Einbau von Schützen, wobei auf die Einmauerung von Laufschienen und anderer Eisenteile sorgfältig geachtet werden muß.

In weiterer Folge dürfte es ebenfalls keinem Bedenken begegnen, auch die Scheitelstücke der Heber in Ziegelmauerwerk auszuführen. Eine solche Ausführungsart ist in Abb. 54 dargestellt. Für die senkrechten Mauern über der Plattform genügt eine Stärke von etwa 1 Stein unter Einbringung horizontaler Eiseneinlagen zur Aufnahme der Zugspannungen. Auf diese Mauern können Kleinsche Decken oder ähnliche Decken zwischen T-Trägern aufgebracht werden. Durch Einlegen von Haftern in die Fugen läßt sich in einfachster Weise ein sicheres Anhaften des Putzes erzielen.

Wenn auch durch Anordnung von Rückschlagventilen das Eintreten von Preßluft in die Heber vermieden werden kann, so steht nichts entgegen, die T-Träger noch zur größeren Sicherheit mit einer geringen Verankerung, wie in Fig. 54 angedeutet, zu versehen.

Auf dem Rücken des Hebers ist zweckmäßig ein Rahmen c einzubauen, um Düsen zur Verbesserung der dynamischen Wirkung der Heber später leicht befestigen zu können. Auch im Scheitel des Hebers läßt sich ein versteifter Kasten in der einfachsten Form anbringen, der gleichzeitig als Mannloch dient, wenn man nicht zu diesem Zwecke eine größere Öffnung zwischen zwei T-Trägern einbauen will. Bei Ausführung der Scheitelstücke der Heber in Mauerwerk oder Beton läßt sich auch ohne große Kosten die Höhe der Heber im Scheitel nachträglich durch Aufbringen von verankerten Putzschichten verringern, falls sich dies zur Beschleunigung des selbsttätigen vollen Ansaugens der Heber für bestimmte Gefälle als wünschenswert herausstellen sollte.

29. Vorteile der Ausführung der Heber in Beton oder in Verbindung mit Mauerwerkskonstruktion gegenüber der Verwendung eiserner Heber:

1. Einfachste und billigste Herstellung der Heberschenkel und der Scheitelstücke.

2. Sichere Haftung des Putzes an den Innenflächen, bequemer Einbau des Scheitelstückes in einfachster Ausführungsart.

3. Besserer Abschluß gegen die Wirkung der Kälte.

4. Möglichkeit die Höhenlage des Rückens des Hebers ohne erhebliche Kosten zu ändern, falls sich dadurch eine bessere Ausnutzung der dynamischen Wirkung erzielen läßt oder falls Änderungen im Oberwasserstand vorgenommen werden sollen. Bei größeren Änderungen, die bei Kanalhaltungen allerdings unwahrscheinlich sind, läßt sich der Abbruch und der Wiederaufbau des Scheitelstücks jedenfalls ungleich leichter und billiger bewerkstelligen als bei eisernen Hebern.

5. Unabhängigkeit bei der Ausführung des Mauerwerks von der rechtzeitigen Lieferung der eisernen Heber und Fortfall der schwierigen, zeitraubenden und die übrigen Arbeiten sehr lästig unterbrechenden Aufstellung der großen eisernen Heber.

Es ist klar, daß dieselben Gründe auch für die Ausführung von Saugglocken in Beton sprechen, wodurch eine weitere Herabminderung der Gesamtkosten eintritt. Die Ausführung einer Saugglocke in Stampfbeton hat sich, wie erwähnt, in Wernsdorf in mehr als fünfzehnjährigem Betriebe sehr gut bewährt.

30. Wirtschaftlichkeit des Heberbetriebs. In den vorstehenden Ausführungen sind die Vorteile des Heberbetriebs in bezug auf die Verbilligung der Füll- und Entleerungsvorrichtungen der Schleusen bereits im allgemeinen erörtert worden. Es dürfte aber zweckmäßig sein, zum Schlusse an einem Zahlenbeispiel die Frage der Wirtschaftlichkeit noch etwas eingehender zu prüfen. Als Unterlage hierfür ist eine vom Wasserbauamt Fürstenwalde a. Spree verfaßte Schrift vom 20. Dezember 1920 herangezogen worden. In dieser Schrift sind die Kosten der Verschlußvorrichtungen für die alte

Mittelschleuse bei Fürstenberg a. O. (Zylinderventil im Oberhaupt und Rollschützen im Unterhaupt) mit den Kosten für die neue Mittelschleuse bei Fürstenberg a. O. (Heberanlage) verglichen worden. Nach den Angaben des Wasserbauamts betrugen die Kosten für beide Systeme:

I. Neue Mittelschleuse bei Fürstenberg a. O.

1.	Für zwei Oberheber in Eisen . . .	7400 Mark	
2.	für zwei Unterheber desgl.	5600 „	13000 Mark
3.	für die Saugglocke desgl.	8000 Mark	
4.	für den Steuerapparat	1000 „	
5.	für die Saugleitungen ohne die Leitung vom Sparbecken zum Verbindungsheber	2500 „	
6.	für die Abflußleitung der Saugglocke .	700 „	
7.	für ein Gebläse	1600 „	13800 „
		Summe	26800 Mark.

II. Alte Mittelschleuse bei Fürstenberg a. O.

1.	Für zwei Zylinderventile	4500 Mark	
2.	für zwei Rollschützen	2640 „	7140 Mark
3.	für vier komplette Motore einschließlich Antriebsvorrichtungen	8000 Mark	
4.	für eine elektrische Schaltanlage . .	1500 „	9500 „
		Summe	16640 Mark.

Die Hebervorrichtungen würden also rund 60 vH. teurer als die Schützvorrichtungen sein. Danach würde der Vergleich wesentlich zuungunsten des Hebersystems ausfallen. Wenn man aber bei Ausführung der Heberschleuse von größerer Eisenkonstruktionen völlig abgesehen haben würde, was auf Grund der damals noch nicht vorliegenden Erfahrungen bedenklich erschien, so würde das Vergleichsergebnis sich erheblich zugunsten der Heber verschoben haben. Es kommen dabei folgende Punkte in Betracht.

a) Die vier eisernen Heberkappen der Schleuse Wernsdorf (vgl. Abhandlung von Engelhard und Zimmermann) haben einschließlich Aufstellung rd. 6800 Mark gekostet. Bei Ausführung in der vorgeschlagenen Art würden sie nur rund **3000** Mark gekostet haben.

b) Die Kosten der eisernen Heberschenkel würden bei Ausführung in Beton mit Ziegelverblendung als Lehren, also unter Wegfall der teuren Verschalung, wie früher erörtert, erspart worden sein, da diese Art der Ausführung sehr einfach ist und demgegenüber die Herstellung eines starken geglätteten Zementputzes auf den Innenflächen der eisernen Heber mit Schwierigkeiten und erheblichen Kosten verbunden war.

c) Die vollständige Ausrüstung der Saugglocke in Beton hat gegenüber der Saugglocke in Eisen nur rund **2600** Mark gekostet (vgl. Ztschr. f. Bauwesen 1909, S. 513).

Die gesamte Heberanlage würde sonach an Kosten erfordert haben: 4 Heberkappen **3000** Mark + Ausrüstung der Saugglocke **2600** Mark + **1000** Mark Steuerapparat + **2500** Mark Leitungsstränge + **700** Mark Abflußleitung der Saugglocke + **1600** Mark Gebläse = **11400** Mark; gegenüber den Schützverschlüssen also eine Ersparnis von 16640 — 11400 = **5200** Mark = rd. 30 vH.

Das Wasserbauamt hat ferner die Jahresausgaben für beide Schleusen in folgender Tabelle ermittelt:

Neue Mittelschleuse.	Alte Mittelschleuse.
1. Verzinsung des Anlagekapitals.	
26800 zu 4 vH. = 1072 Mark.	16640 zu 4 vH. = 666 Mark.
2. Abschreibungskosten.	
13000 zu 1 vH. = 130 Mark.	7140 zu 3 vH. = 214 „
13800 zu 2 „ = 276 „	9500 zu 4 vH. = 380 „
3. Unterhaltungskosten.	
300 Mark.	550 „
4. Betriebskosten.	
keine!	280 K.W.St. · 0,2 = 56 „
5. Nebenkosten.	
keine!	$\frac{268000 \cdot 0{,}75}{1000}$ = 200 „
Summe 1778 Mark.	Summe 2066 Mark.

Mithin Unterschied: 288 Mark.

Danach würden die Ausgaben für die Schleuse mit Schützenverschlüssen rund 290 Mark jährlich höher als für Heberverschlüsse sein. Bei den Nebenkosten zu 5 für die alte Schleuse ist wegen der Sickerverluste durch die Schützen in Höhe von 268000 cbm jährlich ein Betrag von 200 Mark für das Aufpumpen des Wassers in die Scheitelhaltung in Rechnung gestellt. Das Wasserbauamt hat hierzu bemerkt, daß bei Wegfall dieser Nebenkosten, also bei reichlichem Wasservorrat, die Jahreskosten für beide Schleusen nahezu gleich werden. Sobald die Heberkosten sich aber geringer stellten, würden die Kosten für Verzinsung und Abschreibung der Anlagekosten sich entsprechend erniedrigen. Nach den hier angestellten Untersuchungen trifft dies zu. Die Jahreskosten betragen nämlich bei vereinfachter Heberanlage: für Verzinsung $11400 \cdot \frac{4}{100}$; für Abschreibung $11400 \cdot \frac{1{,}5}{100}$ und für Unterhaltung 300 Mark, zusammen 927 Mark, also gegenüber 1866 Mark für die Schützanlagen nur die Hälfte der Jahresausgaben.

Die Vorteile der Heberanlagen in wirtschaftlicher Beziehung kommen aber in jetziger Zeit ganz besonders zur Geltung, wenn man die riesige Steigerung der Kosten für Baustoffe und Arbeitslöhne berücksichtigt. Die Tonne Eisenkonstruktion wurde vor dem Kriege mit rd. 350 Mark bezahlt, während jetzt rd. 4000 Mark für die Tonne gefordert werden. Dasselbe gilt in verstärktem Maß für maschinelle Anlagen. Ein cbm Betonmauerwerk, Mischung 1:6, kostet zurzeit etwa 300—350 Mark, ein cbm Klinkermauerwerk in Zement 1:3 etwa 450 Mark. Infolge des sehr hohen Zementpreises stellen sich also die Kosten des Klinkermauerwerks gegenüber den Kosten des Betonmauerwerks verhältnismäßig nicht so hoch als früher.

Wenn man für die Schützanlagen mit Kraftbetrieb einen zehnfachen Preisaufschlag in Rechnung stellt und für die Heberanlagen etwa einen achtfachen Preisaufschlag einsetzt, so stellen sich die Kosten für die Schützeinrichtungen zurzeit auf 16600 · 10 = 166000 Mark und für die Heberanlage auf 11400 · 8 = rd. 91000 Mark. Dies ergibt eine Kostenersparnis von rd. **75000** Mark = **45** vH. zugunsten der Heber.

Es ist außerdem zu berücksichtigen, daß die Kosten für die Krafterzeugung ebenfalls sehr erheblich gestiegen sind,

so daß die Anordnung von Hebern auch in bezug auf die Betriebskosten wesentliche Vorteile bietet.

Selbst wenn man also bei Schätzung der Vergleichswerte einen weiten Spielraum zuläßt, so fällt doch der Vergleich zugunsten der Heberanlagen aus. Wenn auch zu erwarten steht, daß die Preise für Baustoffe und Arbeitslöhne allmählich fallen werden, so werden sie jedenfalls in absehbarer Zeit den früheren niedrigen Stand nicht mehr erreichen.

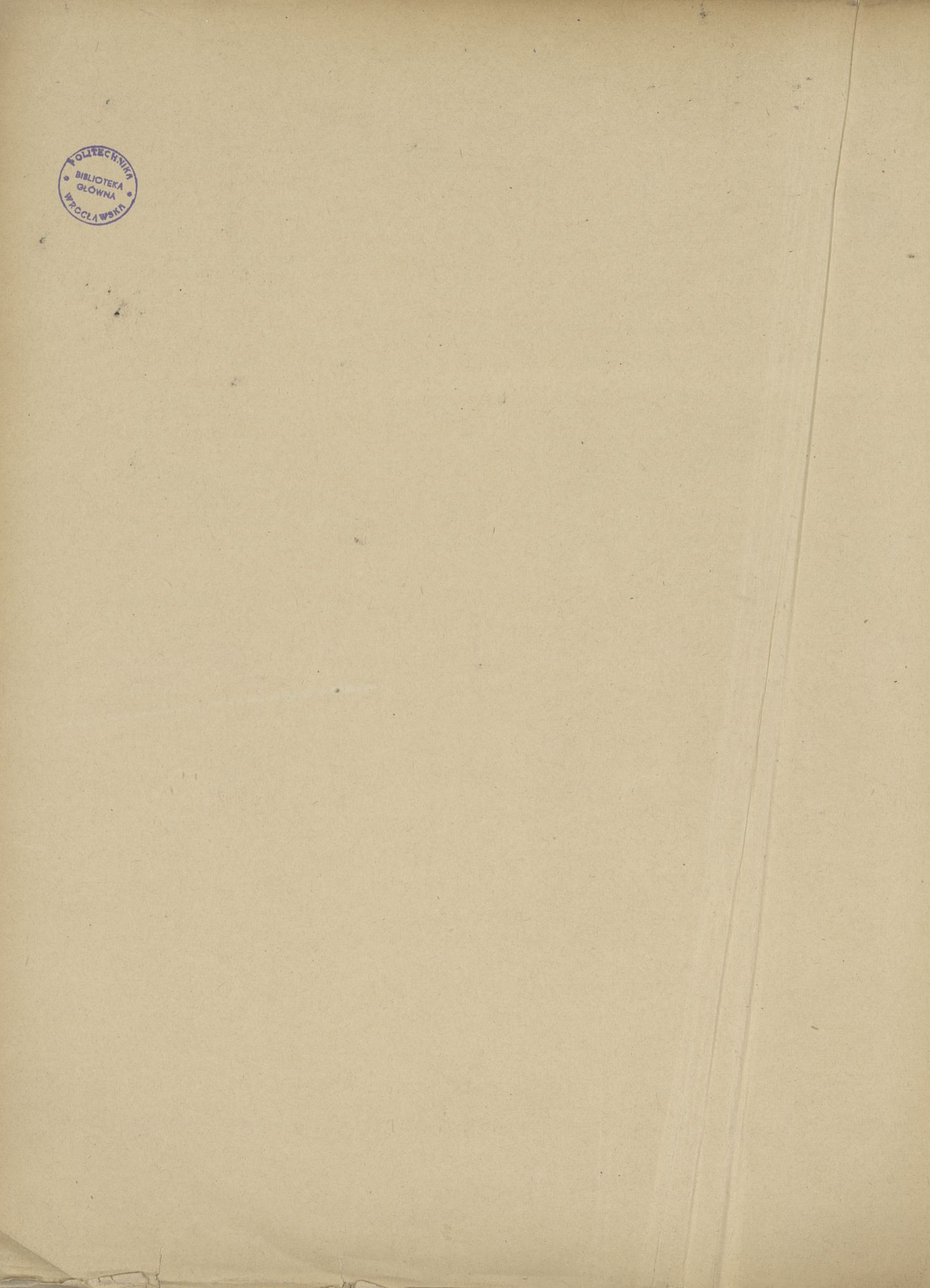
31. Sicherheit des Betriebes. Daß auch die Sicherheit des Betriebes, wie am Anfang dieser Schrift erörtert ist, bei Anwendung des Hebersystems gewährleistet wird, erfährt durch die Angaben des Wasserbauamts in Fürstenwalde folgende einwandfreie Bestätigung: „Es wird bestätigt, daß sich die Heberanlagen an den Schleusen des Oder-Spree-Kanals seit ihrer Betätigung (1906) durchaus bewährt und keine Störungen des Schiffahrtsbetriebes herbeigeführt haben und daß auch die mit der Bedienung der Heberanlagen betrauten Schleusenarbeiter bei der Bedienung der Heberanlagen allen an sie gestellten Anforderungen in befriedigender Weise gerecht zu werden vermochten. Bei Frost eingetretene Störungen des Heberbetriebs, welche meist darin bestanden, daß Eisbildungen unten an den über den Heberscheiteln angeordneten Steigrohren auftraten und das Ansaugen verhinderten, waren nur ganz vorübergehend und konnten jedesmal in einfachster Weise behoben werden."

Es wird hierzu bemerkt, daß bei Anwendung von Schützanlagen der Betrieb der Schützen zur Frostzeit durch Eisbildung häufig in unliebsamster Weise gestört wird.

32. Schlußfolgerungen. Auf Grund der vorstehenden Darlegungen darf als erwiesen gelten, daß die Anwendung von Hebern nach Fortfall der hohen Lizenzgebühr und nach Vereinfachung der Ausführungsart auch hinsichtlich der Anlagekosten gegenüber den anderen bekannten Vorrichtungen zum Füllen und Entleeren von Schleusen besondere Vorteile bietet.

In bezug auf die Unterhaltungs- und Betriebskosten unterliegt es keinem Zweifel, daß bei der überaus einfachen Art der beweglichen Teile, die nur einer sehr geringen Abnutzung unterworfen sind, die Heberanlagen den übrigen bekannten Vorrichtungen zum Füllen und Entleeren der Schleusen überlegen sind. Es empfiehlt sich daher, bei der überwiegenden Zahl von Kanalschleusen mit nicht sehr hohen Gefällen die Füllung und Entleerung durch Heber anzuordnen. Dies kann um so unbedenklicher geschehen, da die z. Zt. vorhandenen Heberschleusen sich in langjährigem Betrieb nach allen Richtungen hin als völlig betriebssicher erwiesen haben und somit wirtschaftliche und betriebstechnische Vorteile durch die Anwendung der Heber mit Sicherheit zu erwarten sind.

Buchdruckerei des Waisenhauses in Halle a. d. S.


POLITECHNIKA
BIBLIOTEKA
GŁÓWNA
WROCŁAWSKA

